

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU ALTERNATİF AKIM KİYİCİ
DEVRELERİNDE DA VE AA SÖNÜMLEYİCİLİ TASARIMLARIN
UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cihangir ODABAŞ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU ALTERNATİF AKIM KİYİCİ
DEVRELERİNDE DA VE AA SÖNÜMLEYİCİLİ TASARIMLARIN
UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cihangir ODABAŞ
504121007**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet KOCABAŞ

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121007 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Cihangir ODABAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU ALTERNATİF AKIM KIYICI DEVRELERİNDE DA VE AA SÖNÜMLEYİCİLİ TASARIMLARIN UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI”** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet KOCABAŞ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Murat YILMAZ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İbrahim Şenol
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2015**

ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince verdikleri ilgi ve teknik desteğinden ötürü çok kıymetli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Derya Ahmet KOCABAŞ'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmamı tamamlarken, problemlerime çözüm yolu gösteren ve laboratuvar imkanlarını kullanmama yardımcı olan Araş. Gör. Mehmet Onur Gülbahçe'ye ayrıca teşekkür ederim.

İ.T.Ü. Elektrik Mühendisliği'nde tamamladığım lisans ve lisansüstü eğitim hayatımda bana destek olan tüm öğretim görevlilerine, araştırma görevlilerine, laboratuvar personeline ve yakın dostlarıma desteklerinden ötürü müteşekkirim.

Hayatım boyunca bana maddi ve manevi destek olan aileme, canım ve can dostlarıma bu çalışmamı bir minnettarlık göstergesi olarak hediye ediyorum.

Çalışmalarımız dahilinde ortaya çıkan bilgi ve tecrübelerin diğer İ.T.Ü. Elektrik Mühendisliği öğrencisi arkadaşlarımıza aktarılması, başka projelere kapı aralaması ve İ.T.Ü. Elektrik Makinaları Laboratuvarı için test düzeneği oluşturulabilmesi ilk hedefemizdir.

Haziran 2015

Cihangir ODABAŞ
Elektrik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET.....	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	8
1.2 Literatür Araştırması	8
2. DGM ALTERNATİF AKIM KIYICILAR	13
2.1 Temel Ön Bilgiler.....	14
2.1.1 Anahtarlama fonksiyonu ve darbe genişlik modülasyonu	14
2.1.2 Yarı iletken devre elemanları	16
2.2 Çalışma Prensibi.....	19
2.2.1 Tek Fazlı DGM AA Kıyıcılar	22
2.2.1.1 AA sönümleyicili DGM AA kıyıcılar.....	24
2.2.1.2 DA sönümleyicili DGM AA kıyıcılar.....	28
2.2.2 Üç Fazlı DGM AA Kıyıcılar.....	33
2.2.2.1 AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar.....	35
2.2.2.2 DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar.....	37
2.3 Matematiksel Model.....	42
2.4 Devre Yapıları	47
2.5 Kontrol Stratejileri.....	49
3. BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI.....	53
3.1 Tek Fazlı DGM AA Kıyıcı Benzetimleri	53
3.1.1 AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları.....	54
3.1.1.1 Yüklenme koşulu 1	59
3.1.1.2 Yüklenme koşulu 2	60
3.1.1.3 Yüklenme koşulu 3	61
3.1.1.4 Yüklenme koşulu 4	63
3.1.1.5 Yüklenme koşulu 5	64
3.1.1.6 Yüklenme koşulu 6	65
3.1.2 DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları.....	66
3.1.2.1 Yüklenme koşulu 7	68
3.1.2.2 Yüklenme koşulu 8	69
3.1.2.3 Yüklenme koşulu 9	69
3.1.2.4 Yüklenme koşulu 10	70
3.1.2.5 Yüklenme koşulu 11	70

3.1.2.6	Yüklenme koşulu 12.....	71
3.2	Üç fazlı DGM AA Kıyıcı Benzetimleri.....	71
3.2.1	AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları	72
3.2.1.1	Yüklenme koşulu 13.....	74
3.2.1.2	Yüklenme koşulu 14.....	75
3.2.1.3	Yüklenme koşulu 15.....	77
3.2.1.4	Yüklenme koşulu 16.....	78
3.2.1.5	Yüklenme koşulu 17.....	79
3.2.1.6	Yüklenme koşulu 18.....	80
3.2.2	DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları	81
3.2.2.1	Yüklenme koşulu 19.....	84
3.2.2.2	Yüklenme koşulu 20.....	85
3.2.2.3	Yüklenme koşulu 21.....	85
3.2.2.4	Yüklenme koşulu 22.....	85
3.2.2.5	Yüklenme koşulu 23.....	86
3.2.2.6	Yüklenme koşulu 24.....	86
3.3	Benzetim Sonuçlarının Yorumlanması.....	87
4.	SİSTEM TASARIMI VE DENEYSEL SONUÇLAR.....	89
4.1	Donanım Tasarımı	89
4.1.1	Elektronik malzeme seçimi	90
4.1.1.1	Anahtarlama elemanı.....	90
4.1.1.2	Anahtar sürücüsü.....	91
4.1.1.3	Kontrolör devresi.....	92
4.1.2	Baskılı devre tasarımı.....	93
4.2	Yazılım Tasarımı	95
4.3	Tek Fazlı DGM AA Kıyıcı Deneyi ve Sonuçları	97
4.3.1	AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı deneyleri ve sonuçları.....	98
4.3.1.1	Deney 1	103
4.3.1.2	Deney 2	104
4.3.1.3	Deney 3	105
4.3.1.4	Deney 4	105
4.3.1.5	Deney 5	106
4.3.1.6	Deney 6	107
4.3.2	DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı deneyi ve sonuçları	108
4.3.2.1	Deney 7	110
4.3.2.2	Deney 8	110
4.3.2.3	Deney 9	110
4.3.2.4	Deney 10	111
4.3.2.5	Deney 11	111
4.3.2.6	Deney 12	112
4.4	Üç Fazlı DGM AA Kıyıcı Deneyi ve Sonuçları.....	112
4.4.1	AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı deneyi ve sonuçları	112
4.4.1.1	Deney 13	115
4.4.1.2	Deney 14	116
4.4.1.3	Deney 15	117
4.4.1.4	Deney 16	118
4.4.1.5	Deney 17	118
4.4.1.6	Deney 18	119
4.5	Verim Ölçümleri.....	120
4.6	Tasarım ve Deney Sonuçlarının Yorumlanması.....	123

5. SONUÇ.....	127
KAYNAKLAR.....	131
ÖZGEÇMİŞ.....	135

KISALTMALAR

AA	: Alternatif akım
ADC	: Analog dijital çevirici
BJT	: Bipolar jonksiyon transistör
CCS	: Kod derleme stüdyosu
DA	: Doğru akım
DGM	: Darbe genişlik modülasyonu
FET	: Alan etkili transistör
GTO	: Kapı kapamalı tristör
MOSFET	: Metal oksit yarı iletken alan-etki transistörü
IGBT	: Yalıtılmış kapılı iki kutuplu transistör
IPEMC	: Uluslararası Güç Elektroniği ve Motor Kontrolü Konferansı
VFD	: Değişken frekans sürücüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Sınırlı anahtar çeşitleri.....	18
Çizelge 2.2 : Anahtarlama fonksiyonu ve çıkış gerilimi	31
Çizelge 4.1 : DGM AA kısıyıcıların verim ölçümleri	122

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : AA-AA Dönüştürücüler.	2
Şekil 1.2 : Üç faz AA-DA-AA Dönüştürücü a) gerilim ara devreli b)akım ara devreli [4].	2
Şekil 1.3 : Temel matris dönüştürücüler a) doğrudan matris dönüştürücü b) dolaylı matris dönüştürücü [4].	4
Şekil 1.4 : Tek fazlı Tristör kontrollü AA kıyıcı a) ters paralel bağlı tristörlü devre b) triyaklı devre c) endüktif yük altında akım ve gerilim dalga şekilleri [2].	6
Şekil 1.5 : Üç fazlı alternatif akım kıyıcısı devre şeması ve giriş-çıkış dalga şekilleri [8].	7
Şekil 2.1 : Basit tek fazlı DGM AA kıyıcı: a) differansiyel b) differansiyel olmayan devre yapısı [14].	14
Şekil 2.2 : Genel anahtarlama fonksiyonu, periyot T, doluluk oranı D ve zaman referansı t_0 [2].	14
Şekil 2.3 : Çift yönlü anahtarlar a) diyot köprülü tek IGBT b) çift ters paralel diyotlu IGBT c) çift ters paralel, ters engellemeli IGBT [32].	19
Şekil 2.4 : Dört bölgeli anahtar yapısı ve eşdeğer sembolü [33].	19
Şekil 2.5 : DGM AA kıyıcı devresi ve endüktif yük [33].	20
Şekil 2.6 : DGM AA kıyıcı giriş, çıkış gerilim dalga şekilleri ve anahtarların kontrol sinyalleri [14].	20
Şekil 2.7 : Alternatif akım kıyıcı çalışma durumları [9].	21
Şekil 2.8 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı devreleri a) dört bölgeli çalışan anahtarlarla oluşturulan tasarım b) iki bölgeli çalışan anahtarlarla oluşturulan tasarım [33].	22
Şekil 2.9 : DGM AA kıyıcı devreleri a) standart AA sönümleyicili tasarım b) DA sönümleyicili tasarım [34].	23
Şekil 2.10 : AA sönümleyicili DGM AA kıyıcı devre topolojisi [22].	25
Şekil 2.11 : DGM AA kıyıcı ve kontrol işaretleri [22].	26
Şekil 2.12 : AA sönümlü DGM AA kıyıcının komutasyon ve çalışma durumları a) aktif durum b)ölü zaman durumu c)serbest geçiş durumu [22].	27
Şekil 2.13 : AA kıyıcı dalga grafikleri [35].	28
Şekil 2.14 : DA sönümleyicili DGM AA kıyıcı devresi [24].	29
Şekil 2.15 : DA sönümleyicili AA kıyıcının dalga şekilleri ve anahtarlama fonksiyonları [24].	30
Şekil 2.16 : DGM AA kıyıcı devresi [15].	31
Şekil 2.17 : DA sönümleyicili DGM AA kıyıcı çalışma durumları [15].	32
Şekil 2.18 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı [15].	34
Şekil 2.19 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı 4 anahtarlı devresi [23].	35
Şekil 2.20 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı kontrol sinyalleri ve çıkış gerilim dalga şekilleri [23].	36
Şekil 2.21 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi a) devre yapısı b) T_s periyodu için anahtarlama fonksiyonu [25].	37

Şekil 2.22 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi [14].	38
Şekil 2.23 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı durumları a) aktif durum b) serbest geçiş durumu [14].	39
Şekil 2.24 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı kontrol işaretleri [27].	40
Şekil 2.25 : DA sönümlü üç fazlı DGM AA kıyıcı çalışma durumları [15].	41
Şekil 2.26 : AA kıyıcı çıkış devresi modeli [26].	43
Şekil 2.27 : AA kıyıcının temel bileşeninin eşdeğer devresi [15].	43
Şekil 2.28 : AA kıyıcının harmonik bileşenlerinin eşdeğer devresi [15].	43
Şekil 2.29 : AA kıyıcının giriş tarafının eşdeğer devresi [15].	44
Şekil 2.30 : DGM AA kıyıcı devre yapıları a) düşüren b) yükselten c) düşüren-yükselten d) cük [8].	47
Şekil 2.31 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı [37].	48
Şekil 2.32 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı farklı devre yapıları a) tam köprü b) tam köprü yük tarafında c) yarım köprü d) yarım köprü yük tarafında e) it-çek f) it-çek yük tarafında [37].	48
Şekil 2.33 : DGM AA kıyıcı dalga şekilleri a) DGM kontrollü b) asimetrik DGM kontrollü [13].	50
Şekil 2.34 : DGM AA kıyıcı dalga şekilleri a) standart DGM kontrollü b) arı kolonisi ile değişken DGM kontrollü [35].	51
Şekil 3.1 : AA sönümleyici tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi.	54
Şekil 3.2 : Benzetimde kullanılan anahtarlama fonksiyonu.	55
Şekil 3.3 : Anahtarlama fonksiyonları arasındaki ölü zaman.	55
Şekil 3.4 : AA sönümlü tek fazlı AA kıyıcı çıkış gerilimi, S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 500$ Hz).	56
Şekil 3.5 : AA sönümlü tek fazlı AA kıyıcı çıkış gerilimi, S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 5000$ Hz).	56
Şekil 3.6 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=\%100$.	57
Şekil 3.7 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=\%75$.	57
Şekil 3.8 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=\%50$.	57
Şekil 3.9 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=\%25$.	58
Şekil 3.10 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=\%0$.	58
Şekil 3.11 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%100$.	59
Şekil 3.12 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%75$.	59
Şekil 3.13 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%50$.	59
Şekil 3.14 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%25$.	60
Şekil 3.15 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%0$.	60
Şekil 3.16 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=\%100$.	60
Şekil 3.17 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=\%75$.	61
Şekil 3.18 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=\%50$.	61
Şekil 3.19 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=\%25$.	61
Şekil 3.20 : Yüklenme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=\%100$.	62
Şekil 3.21 : Yüklenme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=\%75$.	62
Şekil 3.22 : Yüklenme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=\%50$.	62
Şekil 3.23 : Yüklenme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=\%25$.	63
Şekil 3.24 : Yüklenme koşulu 4 aktif anahtarlar $D=\%75$.	63

Şekil 3.25 : Yüklenme koşulu 4 aktif anahtarlar $D=50\%$	63
Şekil 3.26 : Yüklenme koşulu 4 aktif anahtarlar $D=25\%$	64
Şekil 3.27 : Yüklenme koşulu 5 aktif anahtarlar $D=75\%$	64
Şekil 3.28 : Yüklenme Koşulu 5 aktif anahtarlar $D=50\%$	64
Şekil 3.29 : Yüklenme koşulu 5 aktif anahtarlar $D=25\%$	65
Şekil 3.30 : Yüklenme koşulu 6 aktif anahtarlar $D=75\%$	65
Şekil 3.31 : Yüklenme koşulu 6 aktif anahtarlar $D=50\%$	65
Şekil 3.32 : Yüklenme koşulu 6 aktif anahtarlar $D=25\%$	66
Şekil 3.33 : DA sönüleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi.....	66
Şekil 3.34 : DA sönümlü tek fazlı DGM AA kıyıcı giriş gerilimi ve S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 500$ Hz).	67
Şekil 3.35 : DA sönümlü tek fazlı DGM AA kıyıcı giriş gerilimi ve S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 5000$ Hz).	67
Şekil 3.36 : DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve S_1 anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).	68
Şekil 3.37 : Yüklenme koşulu 7 aktif anahtarlar $D=50\%$	69
Şekil 3.38 : Yüklenme koşulu 8 aktif anahtarlar $D=50\%$	69
Şekil 3.39 : Yüklenme koşulu 9 aktif anahtarlar $D=50\%$	70
Şekil 3.40 : Yüklenme koşulu 10 aktif anahtarlar $D=50\%$	70
Şekil 3.41 : Yüklenme koşulu 11 aktif anahtarlar $D=50\%$	71
Şekil 3.42 : Yüklenme koşulu 12 aktif anahtarlar $D=50\%$	71
Şekil 3.43 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi benzetimi.	72
Şekil 3.44 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların giriş gerilimleri ve anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).	72
Şekil 3.45 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların giriş gerilimleri ve anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 5000$ Hz ve $D=50\%$).	73
Şekil 3.46 : AA sönümleyicili üç fazlı AA kıyıcıların çıkış gerilimleri ve aktif anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).	73
Şekil 3.47 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=100\%$	74
Şekil 3.48 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=75\%$	74
Şekil 3.49 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=50\%$	75
Şekil 3.50 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=25\%$	75
Şekil 3.51 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=0\%$	75
Şekil 3.52 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=100\%$	76
Şekil 3.53 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=75\%$	76
Şekil 3.54 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=50\%$	76
Şekil 3.55 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=25\%$	77
Şekil 3.56 : Yüklenme koşulu 15 aktif anahtarlar $D=100\%$	77
Şekil 3.57 : Yüklenme koşulu 15 aktif anahtarlar $D=75\%$	77
Şekil 3.58 : Yüklenme koşulu 15 aktif anahtarlar $D=50\%$	78
Şekil 3.59 : Yüklenme koşulu 15 aktif anahtarlar $D=25\%$	78
Şekil 3.60 : Yüklenme koşulu 16 aktif anahtarlar $D=75\%$	78
Şekil 3.61 : Yüklenme koşulu 16 aktif anahtarlar $D=50\%$	79
Şekil 3.62 : Yüklenme koşulu 16 aktif anahtarlar $D=25\%$	79
Şekil 3.63 : Yüklenme koşulu 17 aktif anahtarlar $D=75\%$	79
Şekil 3.64 : Yüklenme koşulu 17 aktif anahtarlar $D=50\%$	80
Şekil 3.65 : Yüklenme koşulu 17 aktif anahtarlar $D=25\%$	80
Şekil 3.66 : Yüklenme koşulu 18 aktif anahtarlar $D=75\%$	80
Şekil 3.67 : Yüklenme koşulu 18 aktif anahtarlar $D=50\%$	81
Şekil 3.68 : Yüklenme koşulu 18 aktif anahtarlar $D=25\%$	81

Şekil 3.69 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi	82
Şekil 3.70 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı giriş gerilimleri, S_1 ve S_{1c} anahtarlama fonksiyonları ($f_s = 500$ Hz ve $D=\%50$).	83
Şekil 3.71 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı giriş gerilimleri, S_1 ve S_{1c} anahtarlama fonksiyonları ($f_s = 5000$ Hz ve $D=\%50$)	83
Şekil 3.72 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve S_1 anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=\%50$).....	83
Şekil 3.73 : Yüklenme Koşulu 19 aktif anahtarlar $D=\%50$	84
Şekil 3.74 : Yüklenme koşulu 20 aktif anahtarlar $D=\%50$	85
Şekil 3.75 : Yüklenme koşulu 21 aktif anahtarlar $D=\%50$	85
Şekil 3.76 : Yüklenme koşulu 22 aktif anahtarlar $D=\%50$	86
Şekil 3.77 : Yüklenme koşulu 23 aktif anahtarlar $D=\%50$	86
Şekil 3.78 : Yüklenme koşulu 24 aktif anahtarlar $D=\%50$	87
Şekil 4.1 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı devre topolojisi.	90
Şekil 4.2 : Seçilen anahtarlama elemanı IGBT'nin gösterimi ve değerleri [38].	91
Şekil 4.3 : IGBT Sürücüsü gösterimi, teknik çizimi ve uygulama devresi [39].	92
Şekil 4.4 : Kontrolör devresi, mikrokontrolör geliştirme devresi ve blok şeması [40].	93
Şekil 4.5 : Elektronik şematik çizimi a) IGBT ve sürücüsü b) mikrokontrolör.	93
Şekil 4.6 : Baskılı devre tasarımı.	94
Şekil 4.7 : Gerçeklenen baskılı devre ve donanım tasarımı.	95
Şekil 4.8 : Yazılım geliştirme platformu CCS.	95
Şekil 4.9 : DGM modülü konfigürasyon ve ayar şeması [40].	96
Şekil 4.10 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı ve deney düzeneği.	97
Şekil 4.11 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı ve ölçümlerin alındığı osiloskop.	98
Şekil 4.12 : Aktif (sarı) ve serbest (mavi) geçiş anahtarlama işaretleri.	99
Şekil 4.13 : Anahtarlama işaretleri a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%72,6$	99
Şekil 4.14 : Anahtarlama işaretleri a) aktif anahtarlar $D=\%24,4$ b) $D=\%0$	99
Şekil 4.15 : Ölü zaman durumunun anahtarlama işaretleri üzerinden gösterimi.	100
Şekil 4.16 : Çıkış gerilimi ve anahtarlama fonksiyonlarının dalga şekilleri ($f_s = 500$ Hz ve $D=\%50$).	100
Şekil 4.17 : Çıkış gerilimi ve anahtarlama işaretlerinin dalga şekilleri ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%61,3$	101
Şekil 4.18 : Çıkış gerilimi ve anahtarlama işaretlerinin dalga şekilleri ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%25,6$ b) $D=\%0$	101
Şekil 4.19 : DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtar işareti ($f_s=5000$ Hz ve $D=\%50$).	101
Şekil 4.20 : Yük deneyleri için oluşturulan ölçüm düzeneği.	102
Şekil 4.21 : Deneylerde kullanılan yük bankaları.	103
Şekil 4.22 : Deney 1 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	103
Şekil 4.23 : Deney 1 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	104
Şekil 4.24 : Deney 1 aktif anahtarlar $D=\%0$	104
Şekil 4.25 : Deney 2 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	104
Şekil 4.26 : Deney 2 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	105
Şekil 4.27 : Deney 3 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	105
Şekil 4.28 : Deney 3 a) aktif anahtarlar $\%50$ dolu b) $D=\%25$	105
Şekil 4.29 : Deney 4 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	106
Şekil 4.30 : Deney 4 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	106
Şekil 4.31 : Deney 5 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	106
Şekil 4.32 : Deney 5 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	107

Şekil 4.33 : Deney 6 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	107
Şekil 4.34 : Deney 6 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	107
Şekil 4.35 : DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı ve deney düzeneği.	108
Şekil 4.36 : DA sönümleyicili tek faz DGM AA kıyıcı anahtarlama fonksiyonları ($f_s=500$ Hz) ve giriş gerilimi a) S_1-S_{1c} b) S_2-S_{2c}	108
Şekil 4.37 : DA sönümleyicili tek faz DGM AA kıyıcı anahtarlama fonksiyonları $S_1-S_{1c}-S_2-S_{2c}$ a) $f_s=500$ Hz b) $f_s=5000$ Hz.	109
Şekil 4.38 : Deney 7 aktif anahtarlar $D=\%50$	110
Şekil 4.39 : Deney 8 aktif anahtarlar $D=\%50$	110
Şekil 4.40 : Deney 9 aktif anahtarlar $D=\%50$	111
Şekil 4.41 : Deney 10 aktif anahtarlar $D=\%50$	111
Şekil 4.42 : Deney 11 aktif anahtarlar $D=\%50$	111
Şekil 4.43 : Deney 12 aktif anahtarlar $D=\%50$	112
Şekil 4.44 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%73,4$	113
Şekil 4.45 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%50,5$ b) $D=\%21,6$	113
Şekil 4.46 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı faz-faz arası çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	113
Şekil 4.47 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı faz-faz arası çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%24$	114
Şekil 4.48 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=5000$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=\%70,4$ b) $D=\%40,2$	114
Şekil 4.49 : Deney düzeneği ve AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı.	115
Şekil 4.50 : Deney 13 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	116
Şekil 4.51 : Deney 13 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	116
Şekil 4.52 : Deney 13 aktif anahtarlar $D=\%0$	116
Şekil 4.53 : Deney 14 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	117
Şekil 4.54 : Deney 14 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	117
Şekil 4.55 : Deney 15 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	117
Şekil 4.56 : Deney 15 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	118
Şekil 4.57 : Deney 16 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	118
Şekil 4.58 : Deney 16 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	118
Şekil 4.59 : Deney 17 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	119
Şekil 4.60 : Deney 17 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	119
Şekil 4.61 : Deney 18 a) aktif anahtarlar $D=\%100$ b) $D=\%75$	119
Şekil 4.62 : Deney 18 a) aktif anahtarlar $D=\%50$ b) $D=\%25$	120
Şekil 4.63 : DGM AA kıyıcının giriş ve çıkış uçlarına bağlı enerji analizörleri.	120

SEMBOL LİSTESİ

D	: Doluluk oranı
$f_{\text{anahtarlama}}$	: Anahtarlama frekansı
T	: Periyot
THD	: Toplam harmonik bozunum
t_o	: Zaman gecikmesi
ω	: Açısal frekans
ω_s	: Açısal anahtarlama frekansı
ϕ_o	: Faz

DARBE GENİŞLİK MODÜLASYONLU ALTERNATİF AKIM KİYİCİ DEVRELERİNDE DA VE AA SÖNÜMLEYİCİLİ TASARIMLARIN UYGULAMALI KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Endüstriyel güç uygulamaları ve kontrol yöntemleri farklı karakteristik özelliklere sahip gerilimlere ihtiyaç duymaktadır. Endüstriyel uygulamalara örnek olarak motor hız/moment kontrolü, aydınlatma, ısıtma ve gerilim düzenleyicileri gösterilebilir. Bu ihtiyaçları karşılamak için geliştirilmiş birçok farklı gerilim ve güç dönüştürücüsü bulunmaktadır.

AA-AA doğrudan dönüştürücüleri içerisinde frekans kontrolü yapmayan dönüştürücüler AA kıyıcı veya AA gerilim düzenleyicisi olarak adlandırılmaktadır. AA kıyıcıların iki temel çeşidi bulunmaktadır. Bunlar faz kontrollü tristör tabanlı kıyıcılar ve DGM AA kıyıcılarıdır. Tristör tabanlı kıyıcılar basitlik ve yüksek güç kapasitesine sahiptirler. Fakat tristörlerin ateşleme açıları büyüdükçe, güç faktörü düşmekte ve çıkış akımı harmonik seviyeleri kritik bir şekilde yükselmektedir. Bu harmoniklerin filtrelenmesi için büyük filtreler gerektirmektedir. DGM AA kıyıcı tristör tabanlı kıyıcıların eksikliklerini aşmaktadır. DGM AA kıyıcılar giriş ve çıkış akımı sinüs biçimli, daha yüksek güç faktörü, daha hızlı dinamik yapı, düşük harmonik seviyeleri ve daha küçük filtre elemanlarına ihtiyaç duyması gibi özellikleri ile tristör tabanlı kıyıcılardan üstündür.

Bu çalışma AA-AA gerilim dönüştürmesini doğrudan yapan, frekans değiştirmeksizin çıkış geriliminin etkin değerini kontrol eden, yüksek frekans anahtarlamalı ve DGM kontrollü alternatif akım kıyıcıların çalışma prensiplerini, teknik özelliklerini, farklı devre ve kontrol yöntemlerini, benzetim yöntemleri ile incelenmesini, tasarımının yapılması ve gerçekleşmesini içermektedir. Çalışmanın hedefi DGM AA kıyıcıların tasarımı, gerçekleşmesi ve DA/AA sönümleyicili devre yapılarının karşılaştırmalı sonuçlarının sunulmasıdır.

Öncelikle DGM alternatif akım kıyıcıların çalışma prensipleri, teknik özellikleri, matematiksel ifadeleri, devre yapıları ve kontrol yöntemleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir. DGM AA kıyıcıların çalışma prensipleri tek fazlı ve üç fazlı devre yapıları olmak üzere iki ana başlık içerisinde incelenmiştir. DGM AA kıyıcılar temel iki farklı kontrol yöntemine göre AA sönümleyicili ve DA sönümleyici DGM AA kıyıcılar olarak alt başlıklara ayrılmıştır. Çalışma prensipleri içerisinde devre yapıları, çalışma durumları, kontrol işaretleri, çıkış gerilim ve akım grafikleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. DGM AA kıyıcıların farklı kontrol yöntemleri ve devre yapıları da açıklanarak, DGM AA kıyıcıların teknik kapasitesi ve farklı uygulama alanlarına ışık tutulmuştur.

Çalışmaların ilerleyen safhalarında tasarım aşamasına geçilirken MATLAB/Simulink vasıtasıyla tek/üç fazlı devre yapılı DA ve AA sönümleyicili DGM AA kıyıcıların

benzetimleri elde edilmiş ve analiz edilmiştir. Kontrol işaretleri açıklanarak, farklı yükler ve anahtarlama frekansları altında çıkış gerilim ve akım değerleri incelenmiştir.

Tasarım aşamasında, DGM AA kıyıcıların tasarımları donanım ve yazılım açısından irdelenmiş ve izlenen adımlar açıklanmıştır. Elde edilen tüm bilgiler ve tasarım aşamalarından sonra üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi gerçekleştirilmiş ve uygulamalı laboratuvar çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarım ile tek/üç fazlı devre yapıları, DA ve AA sönümleyicili devre yapıları, anahtarlama işaretleri, farklı yükler ve anahtarlama frekansları ile testler gerçekleştirilmiş, incelenmiş ve karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur.

COMPARISONS OF APPLIED PULSE WIDTH MODULATED AC CHOPPER CIRCUIT DESIGNS WITH DC AND AC SNUBBERS

SUMMARY

Industrial power applications and control techniques require voltages, which have different characteristics. As an example for industrial applications, speed/torque control of motors, lightning, heating and voltage regulators could be shown. To fulfill these requirements, there are developed lots of different voltage and power converts.

AC-AC converters are widely used in most application. Because of the mains AC supply voltage, most developed products have AC supply connectors and designed to work with mains. Besides, popular usage of the asynchronous motors requires AC-AC converters and variable voltage/power converters.

AC-AC converters have different segments and types. One of them is ones with DC link. AC-DC-AC converters are the most popular AC-AC convert among the others. They have two stages, which are rectifiers and inverters. These converters have capability of the changing the voltage's frequency and effective value. Moreover, they are used for speed/torque control of motors. Beside these advantages, AC-DC-AC converters have these disadvantages: input current harmonic distortion, usage of big bulky DC filters, many switches in their topologies and complexity of their control.

Matrix converters is the other member of the AC-AC converters. These converters directly change AC voltage to AC directly without DC link. The matrix converter has several advantages over traditional rectifier-inverter type power frequency converters. It provides sinusoidal input and output waveforms, with minimal higher order harmonics and no subharmonics; it has inherent bi-directional energy flow capability; the input power factor can be fully controlled. Finally yet importantly, it has minimal energy storage requirements, which allows to get rid of bulky and lifetime-limited energy-storing capacitors. However, these converters requires complex controls and their topologies contains many switching elements. It brings robustness and durability questions.

AC-AC direct converters, which do not change supply frequency are named AC voltage regulators. There are two main types of AC voltage regulators. These are thyristors based voltage regulators and PWM AC choppers. Thyristors based voltage regulators have simplicity of the control circuit and large power capability. However, there are drawbacks especially with increasing firing angles, power factor decreases and output current harmonic components increases dramatically. To filter the content of the line current harmonics, large and bulky filter elements are required. PWM AC choppers overcome these drawbacks. PWM AC choppers offer several advantages such as sinusoidal input and output current, higher power factor, faster dynamics, less harmonic components and significant reduction in filter size.

The main goal of this project is that working principles, technical properties, simulations results, designing and generation of the PWM AC choppers which converts AC to AC directly with high frequency switching and controls to effective value of the output voltage without changing its frequency. The aim of this project is designing and generation of the three-phase PWM AC chopper. Simulation and experimental based comparison of the PWM AC chopper with AC and DC snubber are shown.

Operating modes of the PWM AC choppers are divided in three: active, freewheeling and dead time. In active mode, input voltages reach the output side and voltage gets equal at both sides. In freewheeling mode, load voltage is freewheeling and shorted. The output voltages get zero value and inductive current flows over the by itself. Dead time mode happens between active and freewheeling mode to get safe transition. In active mode, the output voltage of ac chopper equals to ac mains, and in freewheeling mode the output is zero. Thus by changing the rate of active mode and freewheeling mode, the average output voltage is regulated. Dead time causes high voltage peak issues to AC choppers because of the inductive loads and currents. There is two main topologies and control methods which are AC choppers with AC or DC snubber to solve this problem

In this project, working principles, technical properties, mathematical equations, circuit topologies and control strategies of PWM AC choppers are explained in detail. PWM AC choppers working principles are examined for both single and three phase topologies in different topics. Besides, working principles of PWM AC choppers are investigated for two different control techniques. These control techniques used in topologies as PWM AC chopper with AC snubber and PWM AC chopper with DC snubber. Working principles include circuit topologies, operating modes, control signals, output voltage and current graphs. Different control strategies and several circuit topologies of PWM AC chopper are listed from literature, so technical capabilities and various application area of the PWM AC choppers are enlightened.

After building the technical information of PWM AC choppers, to step up designing simulations are performed and the results are analyzed. Simulations and analyses are performed with MATLAB/Simulink for single/three phase with different topologies of AC choppers. While explaining the control signals, under the different loads and chopping frequency output voltages and currents waveforms are investigated. Detailed and comparative results are given for both AC and DC snubber topologies. In the end of this chapter, all observed critical points are listed separately. All the data from the simulations lead to designing of the AC chopper with proper preparation. These results are taking an important role.

While designing AC chopper, hardware design and software design steps are explained separately. In hardware design, flexible circuit topology is aimed. To comparing different topologies, circuit board and design should be capable of transforming between different topologies. After the whole given information and technical details, the design of the three phase PWM AC chopper is accomplished and produced. In software design, proper switching functions are obtained. With complete and realized design, single/three phase topologies, switching signals, different load and switching frequencies tests are performed, investigated and comparison of the results are given. Different topologies and AC/DC snubber AC choppers are experimented. Comparative results and success of the design are shown. Efficiency of the AC chopper is calculated under varying loads and topologies. With all the acquired data, design of

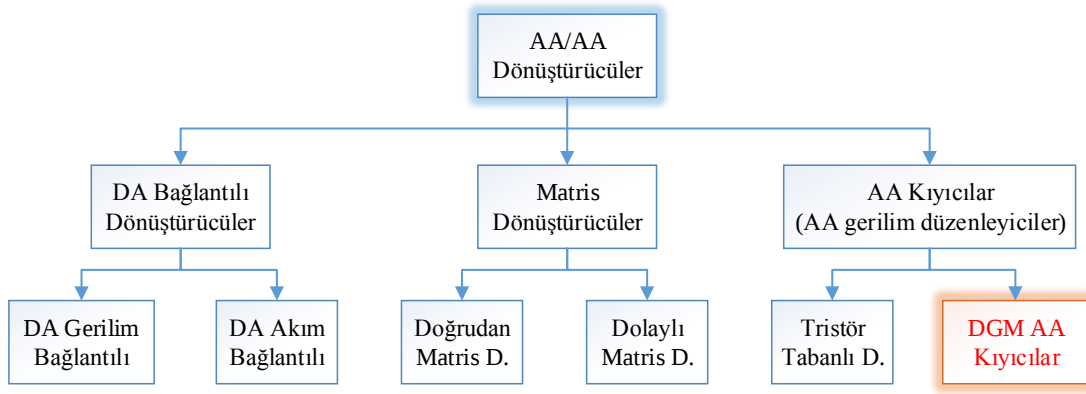
the AC chopper is completed. Besides, it gives clear ideas about different topologies, working conditions under varying loads and conditions.

1. GİRİŞ

Elektronik sistemlerin teknolojik gelişimindeki yüksek hızı ile birlikte, endüstriyel veya günlük kullanıcı uygulamaları için çok farklı gerilim ve güç değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Şehir şebekelerindeki yüksek gerilimlerden taşınabilir elektronik cihazlardaki düşük gerilim seviyelerine kadar çok farklı güç ve gerilim değerleri hep bir arada kullanımda olduğundan, gerilim ve güç dönüştürücülerine sürekli ihtiyaç vardır. Fakat enerjilendirilmesi güç dönüştürücüsü ile yapılan endüstriyel ve normal kullanıcı cihazları, elektrik enerjisi kalitesi ve güvenilirliği konusunda birçok problemlere yol açmaktadır [1]. Modern elektronik sistemler kaliteli, küçük, hafif, sağlam ve verimli güç kaynaklarına ihtiyaç duymaktadır [2].

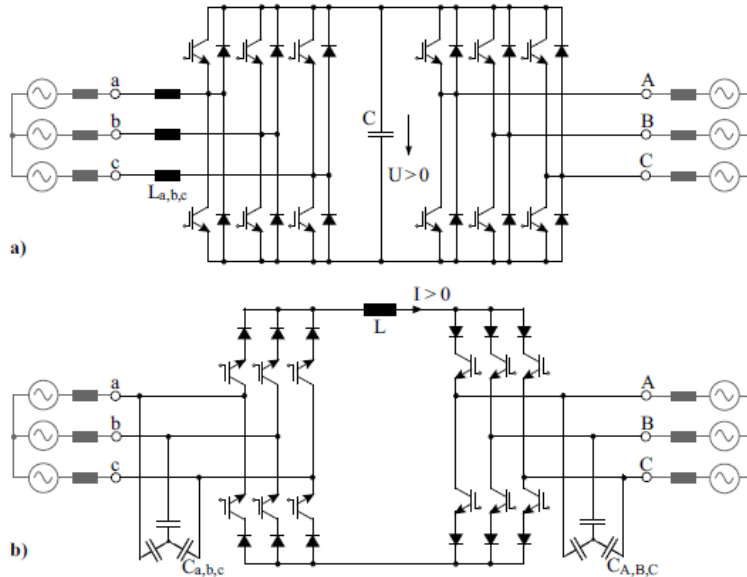
Güç elektroniği dönüştürücüler; alternatif akımın (AA) ve doğru akımın (DA) kendi aralarında dönüştürme işlemini yapabilen, bu dönüşümü yaparken de gerilim, frekans gibi nicelikleri kolayca ayar edebilmeye olanak sağlayan sistemlerdir. Gerilim dönüştürücüler güç elektroniğinin en önemli konusunu oluşturmaktadır. Özellikle yüksek güçlü dönüştürücüler tasarlayabilmek için özel ve farklı anahtarlama elemanları kullanılması gerekmektedir. Yarı iletken teknolojisinin hızla gelişmesi ile yüksek frekans mertebelerinde anahtarlama kayıpları daha az olan yarıiletken elemanlar yapılabilmektedir. Artan frekansla beraber güç elektroniği sistemlerinde kullanılan elemanların boyutları da küçülmektedir. Ayrıca dönüştürücülerin dinamik karakteristikleri yükselen frekansla birlikte doğru orantılı bir şekilde artmaktadır [2].

Gerilim dönüştürücüler giriş ve çıkış geriliminin dalga şekillerine göre alt başlıklara ayrılmaktadır. Bunlar AA-DA, DA-DA, DA-AA ve AA-AA dönüştürücüler olarak adlandırılmaktadır. Çok farklı endüstriyel uygulamalar için farklı güç ve gerilim mertebelerinde çalışmaya uygun pek çok devre yapısı geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında teknik tasarımı yapılacak olan, DGM AA kıyıcı ise AA-AA ailesinin bir üyesidir. Alternatif akım - alternatif akım dönüştürücüler içerisinde de birçok tasarım ve uygulama mevcuttur. Şekil 1.1'de AA-AA dönüştürücülerin aile yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : AA-AA Dönüştürücüler.

AA-AA dönüştürücü ailesi içerisindeki DA bağlantılı dönüştürücülerin günümüzde popülerliği çok yüksektir. Bu grupta yer alan çeviriciler önce alternatif gerilimi doğru gerilime çevirip daha sonra elde edilen bu doğru gerilimi alternatif gerilime dönüştürmektedir. Bu dönüştürme sırasından dolayı ismine AA-DA-AA dönüştürücüler de denilmektedir. Evirici topolojileri ile DA-AA dönüşümü yapılırken çıkış geriliminin hem etkin değeri, hem de frekansı değiştirilebilmektedir. Literatürde çıkış gerilimi ve akımının toplam harmonik bozunumunun oldukça düşük olduğu yüksek frekanslarda çalışabilen evirici topolojilerinin bulunduğu çalışmalar artmıştır [3]. Şekil 1.2’de sırasıyla doğru gerilim ara devreli ve doğru akım ara devreli bir alternatif gerilim dönüştürücüsü verilmiştir.



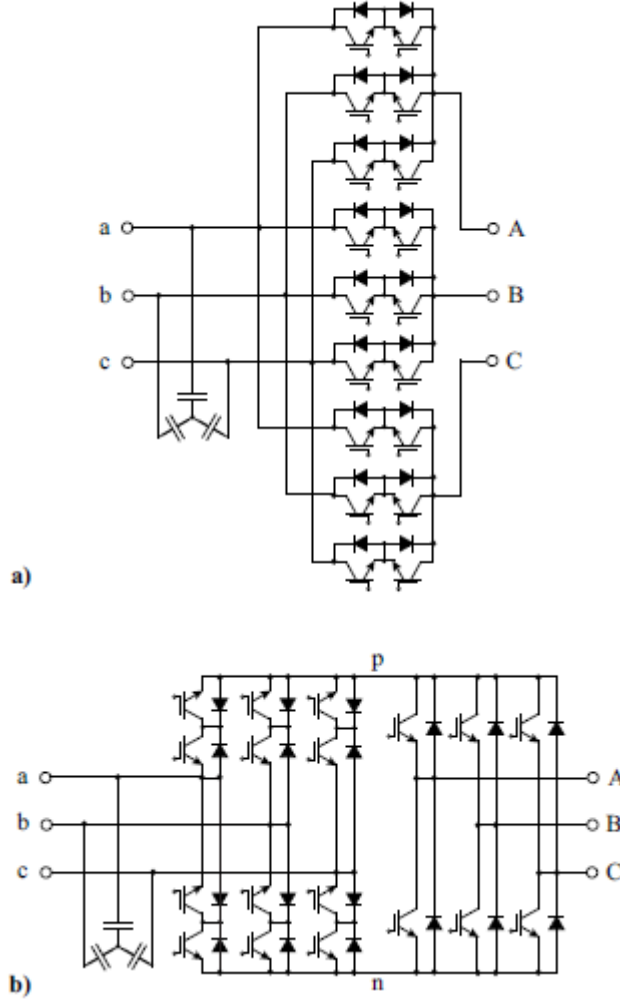
Şekil 1.2 : Üç faz AA-DA-AA Dönüştürücü a) gerilim ara devreli b)akım ara devreli [4].

AA-DA-AA dönüştürücüler çıkış geriliminin genliğini ve frekansını kolayca ayar edebildiğinden özellikle motor kontrol uygulamalarında kullanılmaktadır. Gerilim ve frekansın kolayca ayar edildiği değişken frekans sürücüleri (VFD), alternatif akım motorunun istenilen moment/hız karakteristiğinde çalışabilmesine olanak sağlar. Değişken hız sürücülerinde, AA-DA dönüşümü yapmak üzere diyotlu dönüştürücüler kullanılmaktadır. Diyotlu doğrultucular kolaylık, ucuzluk ve güvenilirlik sağlasa da, şebeke giriş geriliminden yüksek harmonikli akım çekmektedir, yükteki enerjiyi yenileme özelliğine ve şebekeye geri kazandırma özelliğine sahip değildir [5].

İsviçre Zürih Federal Teknoloji Enstitüsü Güç Elektroniği ve Ölçme Tekniği Kürsüsü'nde yapılan "Üç faz AA/AA dönüştürücülerin esasları" adlı çalışmaya göre, üç faz şebeke geriliminden değişken frekans ve gerilim değerlerine sahip yük gerilimi elde etmek için DA ara devreleri (Şekil 1.2) dönüştürücüler sıklıkla kullanılmaktadır [4]. Değişken frekans sürücüleri bu tip bir uygulamaya örnek verilebilir. Bu tip uygulamalarda şebeke gerilimi köprü tipi doğrultucular sayesinde çok kolay bir şekilde doğrultulabilir. Fakat motoru frenleyebilmek için darbe kontrollü frenleme direnci ya da ters paralel tristör köprü besleme tarafında kullanılması gerekmektedir. Bu tip bir frenleme sistemi besleme geriliminde harmonik bozunumlara yol açmakta ve sistemin şebekeden reaktif güç talebi artmaktadır. Ayrıca DA bağlantısı üzerinde kullanılan enerji depolama elemanlarının ömürlerinde ciddi azalmalar olmaktadır [4]. Örnek olarak DA gerilim ara devreli olan tasarım için kondansatör ve DA akım ara devreli olan tasarımdaki bobin gösterilebilir.

Doğrudan AA-AA dönüştürücülerinin, AA-DA-AA sistemlerinden kendilerini ayıran en önemli özelliği başka bir dönüşüm olmadan AA-AA dönüşümünü doğrudan gerçekleştirmeleridir. Yüksek güç yoğunluğu ve güvenilirlik istenildiğinde, depolama elemanı olmadan doğrudan AA-AA dönüşümü yapan topolojiler öne çıkmaktadır. AA-AA dönüştürücülerin diğer dönüştürücü yapılarına göre pek çok üstünlüğü bulunmaktadır. Dezavantaj olarak, şebeke tarafında yüksek bozunum ve özellikle evirici katında yüksek reaktif güç ihtiyacı gösterilebilir [4].

Bu çalışma kapsamında tasarımı yapılan DGM AA kıyıcılar doğrudan AA-AA dönüşümü yapan sistemler içerisindedir. AA-AA dönüşümü yapan sistemlerin teknik detaylarını kavramak için matris dönüştürücülerin çalışma prensipleri araştırılmıştır. Şekil 1.3'te matris dönüştürücülerin doğrudan ve dolaylı matris çeviriciler gösterilmiştir.



Şekil 1.3 : Temel matris dönüştürücüler a) doğrudan matris dönüştürücü b) dolaylı matris dönüştürücü [4].

AA sürücü uygulamalarında çoğu zaman, girişinde ve çıkışında güç faktörü aynı olan, yüksek verim ve regülasyon bandına sahip, daha az gürültülü ve harmonik bozunumu az dönüştürücüler talep edilmektedir. Son yıllarda aranan bu özellikleri sağladığından dolayı matris dönüştürücünün popülaritesi artmıştır. Geleneksel DA bağlantılı ve evirici düzenine sahip olan geleneksel dönüştürücülerin yerini alma potansiyeli yüksektir [6].

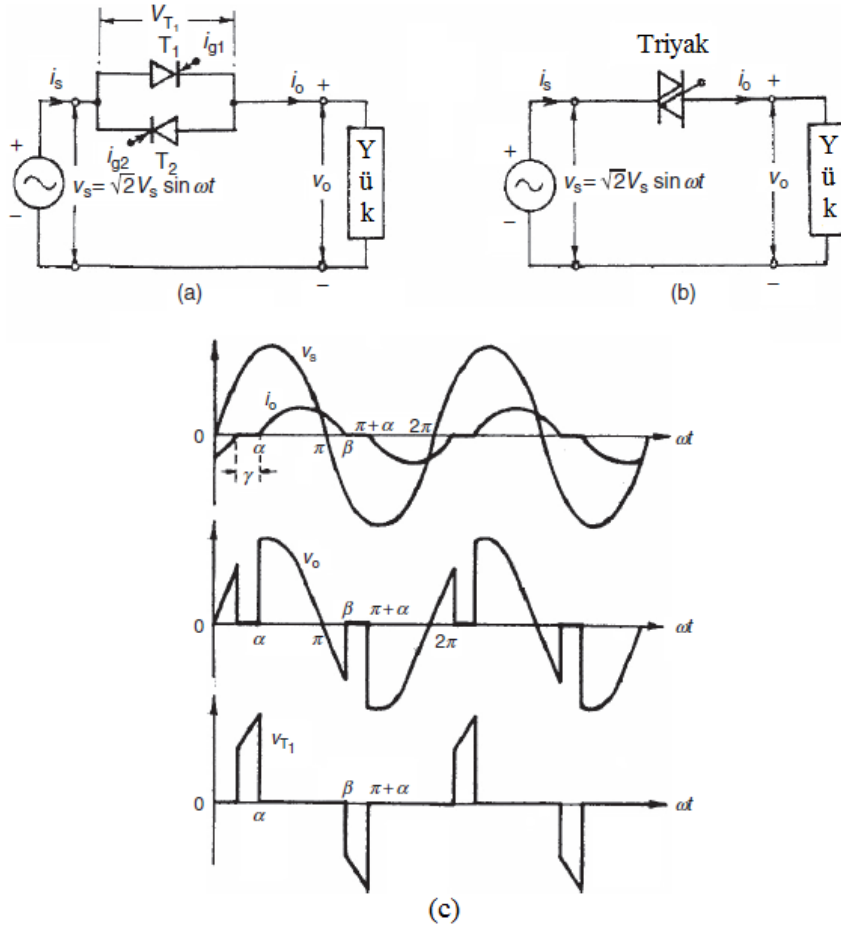
Matris dönüştürücülerde kullanılan yarı iletken elemanların sayısı oldukça fazladır ve kontrol aşamaları da aynı derecede karmaşıktır. Matris dönüştürücünün kontrol edilmesi için tercih edilen yöntem giriş gerilim ve akım dalga şekillerinin uzay vektörlerinin çıkartılmasıdır. Hotate ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya göre, matris dönüştürücülerin kontrol aşamaları şu şekilde sıralanmaktadır [7]; giriş gerilim uzay vektörlerinin algılanması ve konumlarının belirlenmesi, istenilen giriş akımı uzay

vektörünün faz açısının belirlenmesi, gerilim ve akım arasındaki uzaklığı belirlenmesi, istenilen çıkış gerilim uzay vektörünün elde edilmesi, anahtarlama zamanlarının hesaplanması, anahtarlama zamanlarından kapı sürme işaretlerinin elde edilmesi ve bu anahtarlama işaretinin anahtarlama elemanlarına dağıtılması ve uygulanmasıdır.

Alternatif akım kıyıcıları ve matris dönüştürücüler birbirlerinden bazı noktalarda ayrılmaktadırlar. Matris dönüştürücülerin kontrol karışıklığı ve tasarımlarındaki anahtarlama eleman sayıları AA kıyıcılarından oldukça fazladır ve çoğunlukla motor hız kontrolü için kullanılmaktadırlar. AA kıyıcılar ile matris dönüştürücüler arasında temel iki farklılık vardır. Bunlardan ilki anahtarlama eleman sayılarıdır ki; genellikle üç fazlı uygulamada matris dönüştürücü 18 anahtar kullanırken, DGM AA kıyıcılar 6 adet anahtarlama elemanı kullanmaktadır. Diğer temel farklılık ise, AA kıyıcıların frekansı değiştirmek için tasarlanmamış olmasıdır ve sadece çıkış geriliminin etkin değerini ayarlamasıdır [8].

Genellikle AA-AA dönüştürücüler bir kaynaktan aldıkları elektrik enerjisini dönüştürerek AA ile beslenen sistemlere gerilimi farklı genlik, frekans ve fazda dağıtırlar. Güç değerlerine uygun olarak besledikleri sistemler tek fazlı veya üç fazlı olabilmektedir. AA-AA dönüştürücüler içerisinde sabit bir frekansta çıkış geriliminin genliğini değiştiren dönüştürücülere AA kıyıcı veya AA gerilim düzenleyicisi denmektedir [2]. AA kıyıcılar endüstriyel ısıtma, aydınlatma ayarlayıcı, yumuşak yol vericiler, pompa motorlarının hız ayarları ve statikVAR kompanzasyon gibi birçok uygulamada geniş ölçüde kullanılmaktadır [9]. AA gerilim düzenleyicileri kullanmak, sabit moment/hız karakteristiği sağlayan eviricili dönüştürücülerden daha ekonomiktir [10].

Alternatif akım kıyıcılar Şekil 1.1’de gösterildiği gibi ikiye ayrılmaktadır. Tristör faz açısı kontrollü ve DGM AA kıyıcılar bu grubu oluşturmaktadır. Faz kontrollü ve tristörlü tekniğin, avantajları sürücü devresindeki basitliği ve yüksek güçlerin kontrolünü ekonomik bir şekilde yapması iken, düşük güç faktörü, düşük mertebeli harmonik bileşenlerin yük tarafında fazla olması ise dezavantajlarıdır [11]. Ayrıca giriş ve çıkış kısımlarından kesintisiz yük akışının sağlanabilmesi için büyük ve hantal filtreler zorunludur [12].



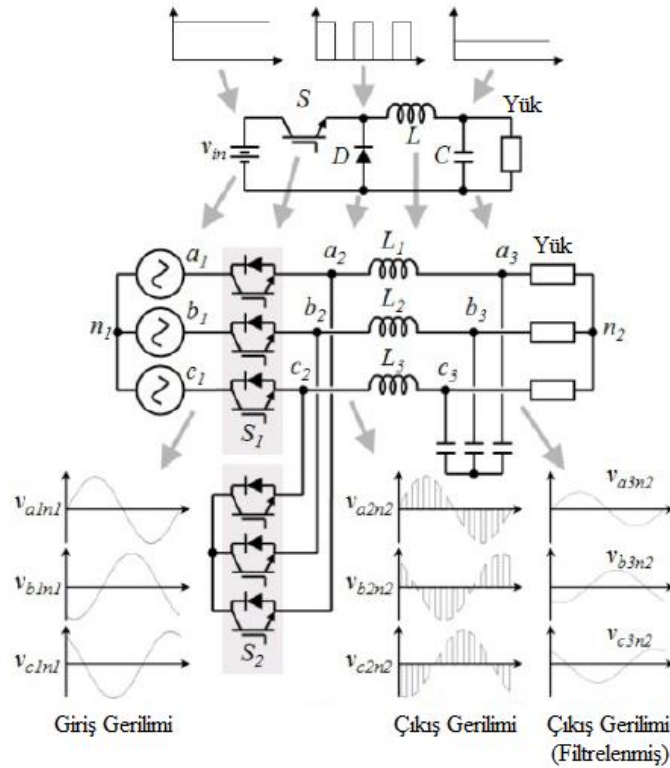
Şekil 1.4 : Tek fazlı Tristör kontrollü AA kıyıcı a) ters paralel bağlı tristörlü devre b) triyaklı devre c) endüktif yük altında akım ve gerilim dalga şekilleri [2].

Şekil 1.4’te tristör tabanlı AA kıyıcının devre şeması, çıkış gerilim ve akım dalga şekilleri gösterilmiştir. Çıkış gerilim (V_o) ve akım (I_o) dalga şekillerinde kesintiler görülmekte ve bu da büyük bir harmonik bozunuma sebep olmaktadır. Özellikle büyük ateşleme açıları yük akımında kesintilere ve ciddi harmoniklere sebep olmakta ve yük tamamen direnç karakterli olsa bile güç faktörünü kötüye doğru ötelemektedirler [13]. Tristör tabanlı dönüştürücülerin depoladığı reaktif güç ateşleme açılarındaki gecikmeler artmaktadır. Bu dönüştürücüler yavaş tepkime süresine sahiptir, giriş ve çıkış akımlarındaki harmonikleri azaltmak için ise büyük filterelere ihtiyaç duymaktadır [14].

AA kıyıcılar içerisinde tristör tabanlı devrelerin kolaylık ve ucuzluğu yanındaki harmonik bozunumları ve kontrollerindeki yavaşlıkları sebebiyle teknolojik olarak daha üstün tasarımların gölgesinde kalmaya başlamıştır. Tristör tabanlı tasarımların bu

eksikleri DGM tabanlı AA kıyıcılar tarafından aşılmaktadır. AA kıyıcılar içerisinde DGM metoduyla çalışan devre yapıları DGM AA kıyıcı olarak isimlendirilmektedir.

DGM AA kıyıcılar sinüzoidal giriş akımı ve güç faktörü birliği, hızlı dinamikleri ve küçük filtre boyutları gibi birçok avantaja sahiptir [15]. DGM AA kıyıcıların yarı iletken anahtarlama elemanları yüksek frekansta uygun zamanlarda devreye girip çıkarak, giriş gerilimini kıyım işlemini yapmaktadır [16]. Bu metoda “Darbe Genişlik Modülasyonu” ismi verilmekte ve doluluk oranı değiştirilerek çıkış geriliminin etkin değeri kontrol edilmektedir. DGM metodunun temel fonksiyonu, çıkış geriliminin tek bir periyodunda birçok darbe oluşturarak harmonik bileşenleri yok etmesidir [13]. AA kıyıcılarındaki bu kontrol sayesinde, akım ve gerilim bozunumları azaltılmış ve filtre boyları küçültülmüştür [15]. Bunun yanında doğrudan olmayan AA-AA dönüşümü yapan tasarımlara göre daha az anahtarlama elemanı içerdiklerinden dolayı ekonomik olarak avantaj sağlamaktadırlar [16]. Ayrıca DGM AA kıyıcılar yüksek sağlamlılık, güvenli komütasyon ve yüksek verimliliğe sahiptirler [14].



Şekil 1.5 : Üç fazlı AA kıyıcısı devre şeması ve giriş-çıkış dalga şekilleri [8].

DGM AA kıyıcıları, giriş gerilimini küçük parçalara bölerek kıyım işlemini gerçekleştirmekte çıkış geriliminin genliğini ayarlamakta ve DGM kontrol sinyalinin doluluk oranını değiştirerek etkin değerini değiştirmektedir [14]. Üç fazlı alternatif

akım kısıcısının temel devre şeması, çıkış ve giriş gerilim dalga şekilleri Şekil 1.5'te gösterilmiştir.

Giriş kısmında aktarılan ön bilgiler göz önüne alındığında. AA-AA dönüştürücüler içerisinde sabit frekans değerinde gerilimin etkin değerinin kontrolünü yapan ve doğrudan bir dönüştürücü olan DGM AA kısıcılar bu çalışmanın temel konusudur. DGM AA kısıcılarının çalışma prensipleri, kontrol metotları, matematiksel modelleri, benzetim modelleri ve tasarım aşamaları detaylı bir şekilde incelenmiş ve karşılaştırmalı sonuçlar elde edilerek sunulmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmada AA-AA dönüştürücü ailesinden doğrudan dönüşüm yapan DGM AA kısıcılarının çalışma ilkeleri detaylı bir şekilde incelenmiş, matematiksel modelleri verilmiş, farklı kontrol ve komutasyon stratejileri incelenmiş ve farklı devre topolojileri açıklanmıştır. Tasarımı aşamasında, DGM AA kısıcılarının MATLAB/Simulink ortamında benzetimleri yapılmış ve farklı yüklenme koşulları altında denenmiştir. Teknik bilgiler dahilinde, donanım ve yazılım tasarımı gerçekleştirilmiş ve DGM AA kısıcılı devresi gerçekleştirilmiştir. Giriş - çıkış akımının toplam harmonik bozunumu az olan, ekonomik ve verimli bir tasarım yapıp devre elemanları boyutlandırılmıştır. Farklı anahtarlama frekanslarında ve yük tiplerinde devrenin başarımı araştırılmıştır. DGM AA kısıcısının tek fazlı ve üç fazlı devre topolojisinin testleri gerçekleştirilmiş ve farklı kontrol stratejilerinin karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur.

1.2 Literatür Araştırması

Literatürde değişik topolojilerde pek çok araştırma mevcuttur. İlk tasarımların başarımlarının düşük olması sebebi ile tez kapsamında sadece geçtiğimiz yirmi yıldaki çalışmaların detayları verilmiştir. İncelenen çalışmalardaki farklı tasarımlara, sürüş tekniklerine, matematiksel modellere ve devre analizlerine yer verilmiştir. Çalışmaya ışık tutan önceki yıllarda yapılmış akademik çalışmalardan seçilmiş örnekler aşağıda verilmiştir.

1996 yılında Kwon, Min ve Kim tarafından yapılan "Novel Topologies of AC Choppers" isimli çalışmada tristör tabanlı farklı AA kısıcılar karşılaştırılarak yeni bir

DGM AA kıyıcı topolojisi öne sürmüştür. Önerilen yeni topolojiyi hem tek fazlı hem de üç fazlı olarak tüm matematiksel hesaplarıyla vermişlerdir. Ayrıca komütasyon yöntemleri etrafıca incelenmiş ve çıkış akımı ve geriliminde meydana gelen harmonik bozunumların hangi parametrelere bağlı olduğu verilmiştir [15].

Do-Hyun ve Gyu-Ha Choe tarafından 1995’de sunulan makalede, DGM AA kıyıcıların klasik sürülme metodu olan sabit doluluk oranına sahip DGM’nin yerine asimetrik DGM kullanılmasını önererek bu yöntemin kıyıcılar üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmalar ve benzetim modelleri ile asimetrik DGM sürüş tekniğini AA kıyıcıların güç faktörlerinin değiştirilebildiğini göstermişlerdir. Böylelikle giriş ve çıkış güç faktörlerini eşitlenebilmektedir [13].

Shinmaya ve arkadaşları tarafından 2002 yılında yapılan “AC Chopper Using Four Switches” isimli çalışmada AA kıyıcılar için en yaygın dört anahtarlı topoloji incelenmiş deneysel ve benzetimsel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çıkış akımının toplam harmonik bozunumunun %3’ün altında olduğu sonucu paylaşılmıştır [17].

2004 yılında M. Saracoglu ve M. Kale’nin sundukları çalışmada, 3 fazlı asenkron motorlar için tasarlanmış, 8 anahtarlama elemanı içeren DGM AA kıyıcı incelenmiştir. Çalışmada transistör tabanlı sistemler ile kıyıcılar kıyaslanmış ve AA kıyıcıların avantajlarına vurgu yapılmıştır. Ayrıca anlık güç teorisi yöntemiyle bir asenkron motor AA kıyıcı ile beslenmiş ve bu yöntem sayesinde devrenin girişindeki ve çıkışındaki aktif ve reaktif güç aynı kalmıştır [10].

Rosascaro ve arkadaşları tarafından sunulan bir bildiride AA akım kıyıcıları üzerine yapılan tüm çalışmalar gözden geçirilmiştir. Tebliğ, AA kıyıcılar ile matris dönüştürücüler arasındaki temel farklılıkları irdelleyip, alçaltan, yükselten, hem alçaltan hem yükselten AA dönüştürücülerinin devre yapılarını ve analizlilerini vermiştir [8].

Kim, Min ve Kwon tarafından 1998 yılında yayınlanan "A PWM Buck-Boost AC Chopper Solving Commutation Problem" isimli çalışmada, indirici/yükseltici DGM AA kıyıcı devresindeki komütasyon sorununu çözmek için yeni bir sürme metodu önerilmektedir. Böylelikle kıyıcı tasarımlarında darbeleri sönümlemek için kullanılan AA sönümleyiciler yerine, bu sönümlenen enerjiyi DA sönümleyiciler ile geri kazanılabileceğini açıklamıştır. Deneysel veriler ile önerilen yöntem denenmiş ve sonuçları çalışmada paylaşılmıştır [18].

Bernardo Cougo ve Thierry Meynad tarafından 2006 yayınlanan “A Solution for Three-Phase System Unbalance Based on PWM AC Choppers” isimli çalışmada şebekeden çekilen düzensiz akımların DGM AA kıyıcılar ile azaltılabileceği açıklanmıştır. Bunun için devre tasarımı önerilmiş ve matematiksel hesaplamalar ile desteklenmiştir [19].

2010 yılında sunulan “AC Chopper Topology With Multiple Steps Switching Capability” isimli çalışmada, üç fazlı AA kıyıcılar için matris dönüştürücülerden esinlenerek bir devre yapısı geliştirilmiş ve sunulmuştur. Standart olarak kullanılan ölü zamanlı sert anahtarlama yerine çoklu adımlarla sürme metodunu kullanmışlardır. Çalışmada devre çizimleri, akım diyagramları, sürme teknikleri ve benzetim sonuçları sunulmuştur [20].

2007’de sunulan “Performance Evaluation of Three-Phase Induction Motor Under Different AC Voltage Control Strategies” adlı bildiride üç fazlı DGM AA kıyıcının farklı tetikleme metotlarının asenkron motorlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma içerisinde üç farklı sürme metodu belirlenmiştir. Bunlar simetrik açı kontrolü, sabit DGM ve testere diş ile kontrol edilen DGM’dir [21].

Yu Hongxiang, Li Min ve Ji Yanchao’nun 2004’te sundukları “An Advanced Harmonic Elimination PWM Technique For AC Choppers” adlı çalışmada, DGM AA kıyıcıların kontrol işareti geleneksel DGM işaretinden farklı yöntemler ile harmoniklerin azaltılabileceği açıklanmıştır. Önerdikleri kontrol metodu ile giriş geriliminin anlık değerine göre harmonik bileşenleri tespit edilmekte ve buna uygun DGM sinyali oluşturulmaktadır [9].

2010 yılında yayınlanan “Analysis And Control of Two Switches AC Chopper Voltage Regulator” adlı çalışmada, indirici tipte DGM AA kıyıcı devresi için iki anahtarlı devre yapısı önerilmiştir. Daha ekonomik ve kolay kullanım sağlayan yapı sabit doluluk oranlı DGM ile kontrol edilmektedir. Akım ve gerilim darbelerini önlemek için AA sönümleyiciler ve varistör kullanılmıştır. Çalışma içerisinde benzetim ve deneysel sonuçlar birlikte verilmiştir [22].

Ursaru ve arkadaşlarının 2004 yılında yaptıkları “Three-Phase AC Chopper With IGBT’s” adlı çalışmada üç fazlı alternatif akım kıyıcıları için farklı bir devre yapısı önerilmiştir. Devre yapısında dört anahtarlama elemanı bulunmakta ve serbest geçiş

altı diyotlu ve tek anahtarlı köprü yapısı ile sağlanmaktadır. Çalışma prensibi, anahtarlama sinyalleri ve benzetim sonuçları analiz edilmiştir [23].

2012’de yapılan “Automatic Voltage Regulator Based On Series Voltage Compensation With AC Chopper” adlı çalışma, AA kıyıcıların otomatik gerilim düzenleyici uygulamasını incelemiştir. Çalışmada sunulan uygulama ile birlikte giriş gerilimindeki çökmeler ve dalgalanmalar azaltılmıştır. Yük geriliminin korunduğu gösterilmiştir. Prototipi yapılan 3 kVA gücündeki tasarımın deneysel sonuçları ve çıktıları çalışmaya dâhil edilmiştir [24].

Romanya Craiova Üniversitesi’nde 2006’da “Basic Topologies of Direct PWM AC Choppers” isimli çalışmada AA DGM kıyıcıların en temel devre yapıları ve çalışma prensibi açıklanmıştır. Çalışmanın içerisinde tek faz ve üç faz için ayrı ayrı devre çizimleri, kontrol sinyalleri ve akım akış yolları detaylı bir şekilde gösterilmiştir [14].

Donato Vincenti, Hua Jin ve Phoivos Ziogas’ın yayınladıkları “Design and Implementation of a 25 kVA Three-Phase PWM AC Line Conditioner” isimli çalışma, üç fazlı DGM AA kıyıcı devresinin hat düzenleyicisi uygulamasına yönelik olarak, çalışma prensibi, devre tasarım ve analizi, kontrol tasarımı ve en son deneysel sonuçları içermektedir [25].

Floricao ve Olaru’nun “Design Procedure for The Input/Output Filter Circuits Used For Single Phase AC Choppers” isimindeki çalışması DGM AA kıyıcıların için giriş ve çıkış filtre tasarımını konu almaktadır. Filtre tasarımı için matematiksel formülasyonlar verilmiş ve benzetim yöntemi ile sonuçlar test edilmiştir. AA kıyıcıların harmonik bozunumlarının hesaplanması ve giriş-çıkış filtre tasarım parametreleri ifade edilmiştir [26].

Murat Kale, Murat Karabacak ve Bilal Saraçoğlu tarafından kaleme alınan “A Novel Hysteresis Band Current Controller Scheme For Three Phase AC Chopper” adlı çalışmada, üç fazlı AA DGM kıyıcılarda akım kontrolü için histerezis bant yöntemi önerilmiştir. Akım kontrolünün asıl amacı, giriş gerilimindeki dalgalılıklara rağmen yük akımlarının dengede tutulmasını sağlamaktır. Çalışmada benzetim yoluyla önerilen kontrol yöntemi incelenmiştir [27].

Japonya Toyoma Üniversitesi’nde gerçekleştirilen “AC Chopper Voltage Controller-Fed Single-Phase Induction Motor Employing Symmetrical PWM Control Technique” isimli çalışma tek fazlı asenkron motorun DGM AA kıyıcı ile incelenmiştir.

Matematiksel hesapları, çalışma prensibi ve analizi yapılmış, ardından deneysel veriler test düzeneği üzerinden kaydedilmiştir [28].

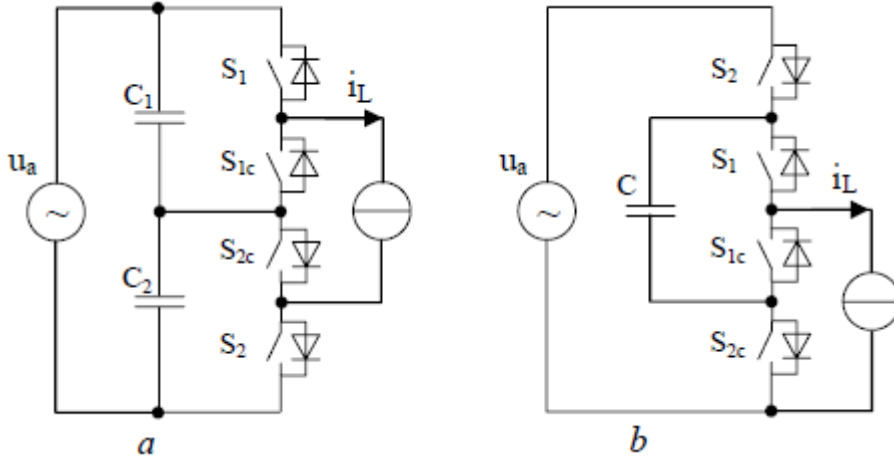
Heung Geun ve arkadaşları tarafından 2015'te yayınlanan çalışmada, DGM AA kıyıcılar için komutasyon sorunlarını çözmek için yeni bir devre yapısı önerilmektedir. Manyetik olarak bağlı endüktans yapısıyla tek fazlı DGM AA kıyıcı tasarımı yapılmıştır. AA kıyıcıların kısa devre ve açık devre çalışma durumuna geçmesi engellenmiştir. Bildiride önerilen devrenin çalışma prensibi, çalışma durumları, kontrol işaretleri, matematiksel ifadeleri, benzetim ve 200 W'lık bir devre gerçekleştirmesini içermektedir [29].

2. DGM ALTERNATİF AKIM KİYİCİLER

Alternatif akım kıyıcıları AA-AA dönüşümünü doğrudan yapabilen, sabit frekansta, değişken ve ayarlanabilir çıkış gerilimi verebilen dönüştürücülerdir. AA-AA doğrudan dönüşümü yapan ve gerilimi ayarlayan sistemler genel olarak alternatif akım gerilim veya hat düzenleyicisi (line conditioner) olarak da isimlendirilmektedir. AA gerilim düzenleyicilerin aydınlatma kontrolü, endüstriyel ısıtma, asenkron motorlar için yumuşak kalkış devreleri, pompa ve fan motorlarının hız kontrolü gibi uygulamaları sabit giriş geriliminden ayarlanabilir AA gerilim gerektirmektedir [30].

Alternatif akım dalga şekline sahip gerilimi düzenlemek güç dönüştürücüleri içerisinde önemli bir konudur. AA-AA gerilim dönüştürücüler ile giriş gerilimini azaltmak veya daha yüksek bir gerilim değerine arttırıp düzenlemek mümkündür. Gerilim düzenleyici olarak otomatik transformatör kullanmak oldukça sağlam ve güvenilir olsa bile, sargı sarım oranları bir servo motor veya manuel olarak değiştirilebildiğinden, bu sistemle dinamik değişiklikler ve kontroller uygulamak mümkün olmamaktadır [31]. Faz kontrollü tristör tabanlı dönüştürücüler otomatik transformatörlere kıyasen biraz daha hızlı cevap verebilmektedir. Tristör tabanlı AA gerilim dönüştürücüler kontrol devresindeki basitlik ve yüksek güçlü kapasiteye sahip devrelerinin olması gibi avantajlara sahiptir. Fakat, tristörlerin ateşleme açılarının yükselmesi ile düşen güç faktörü, hat akımındaki yüksek harmonik akımlar ve pasif filtre elemanlarının çok büyük olması gibi ciddi problemleri de beraberinde getirmektedir [15].

DGM AA kıyıcıları, AA gerilim regülatörleri içerisinde genel olarak daha üstün performansa sahiptirler. Ayrıca yukarıda bahsedilen problemler yüksek frekanslı anahtarlama elemanları ile kıyma işlemi sayesinde aşılabilmektedir. Bu durumda bir periyottaki giriş gerilimi DGM sayesinde küçük parçalara bölünerek ve çıkış geriliminin etkin değeri doluluk oranına göre ayarlanmaktadır. Şekil 2.1’de DGM AA kıyıcı devre topolojisi görülmektedir [14].



Şekil 2.1 : Basit tek fazlı DGM AA kıyıcı: a) differansiyel b) differansiyel olmayan devre yapısı [14].

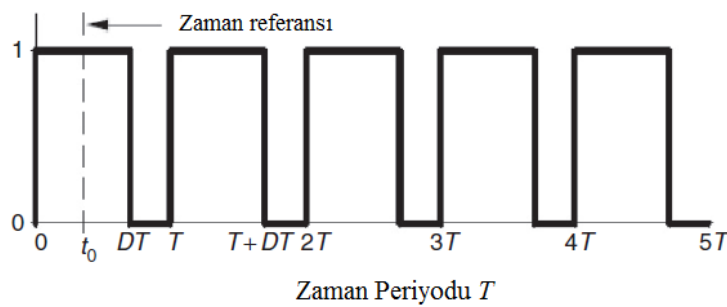
Bu başlık içerisinde DGM AA kıyıcıların çalışma prensipleri, devre teknikleri, matematiksel modelleri, devre yapıları ve kontrol stratejileri detaylı bir şekilde incelenecektir.

2.1 Temel Ön Bilgiler

Başlık içerisinde DGM AA kıyıcıların çalışma prensiplerinin rahat anlaşılabilmesi için verilen temel ön bilgiler sıralanmıştır.

2.1.1 Anahtarlama fonksiyonu ve darbe genişlik modülasyonu

Anahtarlama fonksiyonu fiziksel bir cihazın aktif veya kapalı olduğunu gösterir. Anahtarlama fonksiyonu ilgili fiziksel anahtar aktif iken 1 değerini ve anahtar kapalı iken 0 değerini almaktadır. Anahtarlama fonksiyonları ayrık değerli olarak zamanın bir fonksiyonudur ve anahtarlama elemanlarının kontrolünü ifade etmek için kullanılmaktadır [2].



Şekil 2.2 : Genel anahtarlama fonksiyonu, periyot T , doluluk oranı D ve zaman referansı t_0 [2].

Şekil 2.2’de tipik bir anahtarlama fonksiyonu görülmektedir. Fonksiyon T periyodundadır. Güç dönüştürücülerindeki anahtarlama işaretleri, anahtarlama fonksiyonun tekrarlanması ile yapılmaktadır. Hatta çoğu dönüştürücüde, anahtarlama işareti MOSFET veya diğer yarı iletken anahtarlama elemanlarını sürececek gerçek gerilim kontrol işareti olarak üretilmektedir [2].

Şekil 2.2’de gösterilen anahtarlama fonksiyonu üç parametre ile karakterize edilmektedir. Bunlar doluluk oranı, frekans ve faz değerleridir.

- Doluluk oranı, D ile Denklem 2.1’de gösterildiği gibidir. Doluluk oranı anahtarın aktif olduğu sürenin oranıdır. Aktif kalma süresi veya diğer anlamıyla darbenin genişliği istenilen sonuçları elde edebilmek için kontrol edilebilmektedir. Bu ayarlama işlemi darbe genişlik modülasyonu (DGM) olarak adlandırılmakta ve güç dönüştürücülerin kontrolü açısından çok kritik bir öneme sahiptir.

$$D = \frac{t_i}{T} \quad (2.1)$$

- Anahtarlama frekansı, $f_{\text{anahtarlama}}$ olarak gösterilmiştir. Anahtarlama frekansı denklem 2.1’de gösterilmiştir. Denklem 2.2’de ise açısal frekans değeri gösterilmiştir. Frekans değeri çoğu uygulamada sabit olarak kullanılır. Fakat bazı kontrol uygulamaları için frekans değiştirilip ayarlanması gerekmektedir. Bu strateji düşük güçlü DA-DA dönüştürücülerin düşük yüklerde çalışabilmesi için kullanılmaktadır.

$$f_{\text{anahtarlama}} = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

$$\omega = 2\pi f_{\text{anahtarlama}} \quad (2.3)$$

- Zaman gecikmesi t_o veya faz ϕ_o olarak ifade edilmektedir. Denklem 2.3’de faz değeri gösterilmiştir. Doğrultucular çoğunlukla faz kontrolünü gereilim aralığını ayarlamak için kullanılmaktadırlar. Bazı özel AA-AA dönüştürücüleri de faz modülasyonunu kullanmaktadır [2].

$$\phi_o = \omega t_o \quad (2.4)$$

Bu üç parametrenin ayarlanması ile birçok farklı güç elektroniği devresinin kontrolü yapılabilmektedir. DA-DA dönüştürücüler, eviriciler ve DGM AA kıyıcılar doluluk

oranının ayarlanması ile davranışlarını ve çıkış gerilim değerlerinin değiştirilmesi mümkündür. Anahtarlama fonksiyonu dönüştürücüler ve kontrol işaretlerinin ifade edilebilmesi açısından çok geniş bir kullanıma sahiptir.

AA kıyıcılar içerisinde DGM anahtarlama fonksiyonuna sahip kıyıcılar DGM AA kıyıcı adı ile anılmaktadır. DGM AA kıyıcının sürülme yöntemi, açıklanan anahtarlama fonksiyonunda olduğu gibi devreler içerisindeki anahtarlama elemanlarının bu fonksiyona göre sürülmesiyle olur. DGM AA kıyıcının çıkış geriliminin etkin değeri ise doğrudan doluluk oranı ve DGM ile ilintilidir. AA kıyıcının kontrolünde frekansın etkisi daha çok çıkış dalga şekillerindeki harmonik bozunumlar üzerindedir. Tüm bu etkiler DGM AA kıyıcı çalışma prensiplerinde detaylı bir şekilde incelenmiş ve açıklanmıştır.

2.1.2 Yarı iletken devre elemanları

Bir anahtar normalde aktif veya kapalı durumdadır. İdeal bir anahtar aktif olduğu zaman, herhangi bir akımı her yöne doğru taşır. Kapalı olduğunda ise üzerindeki gerilim değeri ne olursa olsun asla akım akmasına müsaade etmez. Tamamen kayıpsız olarak çalışan ideal anahtar, aktif ve kapalı konumlarına gecikmesiz geçebilmektedir. Fakat gerçek anahtar elemanları ideal anahtarlara ancak yakınlık gösterebilirler. Gerçek anahtarları ideallerinden ayıran özellikleri şu şekildedir:

- Aktif olduğu durumda akımın miktarı ve yönünün sınırlı olması
- Aktif olduğu durumda üzerinde gerilim düşümü olması
- Kapalı olması gerektiği durumda bazı seviyelerde akım kaçaklarının olması
- Kapalı olduğu durumda üzerine düşen gerilimin sınırının olması
- Anahtarlama süresi, aktif ve kapalı durumlar arası geçiş sırasındaki bir miktar sürenin olması [2].

Gerçek yarı iletken elemanların ideal anahtarların hangi özelliklerine yakınlık gösterdiğinin derecesi uygulamaya göre değişiklik göstermektedir. Mesela diyotlar sadece doğru akımı iletmektedirler ve bu onlar için bir dezavantaj değildir hatta birçok farklı uygulamada bu özellikten faydalanılmaktadır. Güç elektroniğinde birçok farklı tipte yarı iletken eleman kullanılmaktadır. Genel olarak bunlar üç ana gruba ayrılmaktadır.

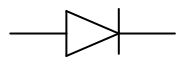
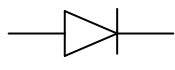
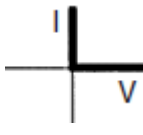
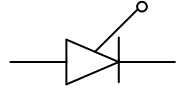
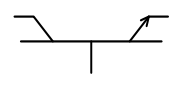
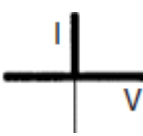
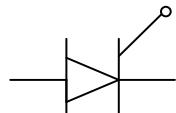
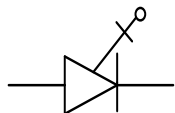
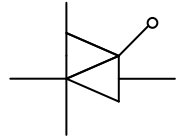
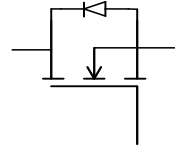
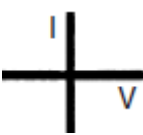
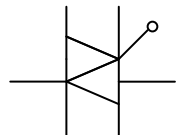
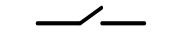
1. Diyotlar, genellikle doğrultucularda, DA-DA dönüştürücülerde ve yardımcı rollerde kullanılır.
2. Transistör, genellikle tek polariteli devrelerin kontrolleri için uygundur. Transistörlerin birçok çeşidi güç dönüştürücülerde kullanılmaktadır.
3. IGBT'ler güç elektroniği uygulamaları için eşsizdir ve iyi karakteristik özelliklere sahiptir özellikle evirici ve yüksek güç gerektiren uygulamalar için çok uygundur.
4. MOSFET'ler yüksek anahtarlama frekanslarda çalışabilmektedir ve anahtarlama geçiş süreleri oldukça kısadır. Bundan dolayı anahtarlama kayıpları az ve yüksek anahtarlama frekansı isteyen güç elektroniği uygulamalarında kullanılmaktadır.
5. Tristör, çok eklemli yarı iletken cihazlardan olup kilitleme özelliğine sahiptir. Genel olarak tristörler kısa bir darbe ile tetiklenirler ve üzerlerinden akan akım bitene kadar aktif konumlarını devam ettirirler. Karakteristikleri yüksek güçlü doğrultucular için çok uygundur [2].

Yarı iletkenlerin iletim yönü ve engelleme karakteristikleri temel bir şekilde cihaz tipine bağlıdır ve güç dönüştürücülerindeki eleman seçimi bu karakteristikler göz önüne alınarak gerçekleştirilmektedir. Bu elemanların farklı iletim ve engelleme karakteristiklerini sadece ideal anahtarlar ile anlatmak mümkün olmamaktadır ve bunu ifade edebilmek için sınırlı anahtar tanımlaması yapmak gerekmektedir. Sınırlı anahtar, akıttığı akımın yönü ve gerilim polaritesi hakkında sınırlamalara sahip bir ideal anahtardır. Çizel 2.1'de yönleri ve çalışma bölgeleri gösterilmiştir [2].

Çizelge 2.1'de çalışma bölgeleri ile yönleri gösterilmiştir. Örnek olarak diyot incelenirse, diyot sadece tek yönde akım iletimine izin vermekte ve ters yönde engellemektedir. Bundan dolayı ileri yönde iletim, geri yönde engelleme ismi ile sınıflandırılmaktadır. Diyot aktif olduğu durumda akım pozitif, kapalı olduğu durumda ise gerilimin değeri negatif olmaktadır. Bu demektir ki, diyotun çalışması tek bölge ile sınırlıdır. Diyotların fonksiyonları otomatiktir ve durumunu anlamak için diyotun bacakları yeterli bilgiyi taşımaktadır. Fakat diğer anahtarların durumlarını anlamak için, kapı (tetikleme noktası) ucunun da durumu bilinmelidir. Çizelge 2.1'de farklı çalışma bölgeleri ve yönleri gösterilmiş ve bu farklı davranışlar göz önüne alınarak birçok farklı tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

Sınırlı anahtar tanımı bize tasarımlarda kullanacağımız cihazların seçiminde yön göstermektedir. Bir örnek üzerinden inceleyecek olursak, evirici devreleri DA gerilim kaynağından AA akım sağlamaktadırlar. Yapısal olarak sistem yönsüz iletim, ileri yönde engelleme sınıflandırmasındaki anahtarlardan oluşturulmalıdır. Bu doğru bir önermedir, modern eviriciler DA gerilim kaynaklarından ters paralel diyotlu FET veya IGBT'ler kullanılarak tasarlanmaktadır. Yeni güç yarı iletkenleri pazara tanıtıldıkları zaman, sınırlı elemanlar ve polarite tablosu bize bu cihazların karakteristikleri hakkında bilgi vermekte ve hangi dönüştürücüler için daha uygun oldukları anlaşılmaktadır [2].

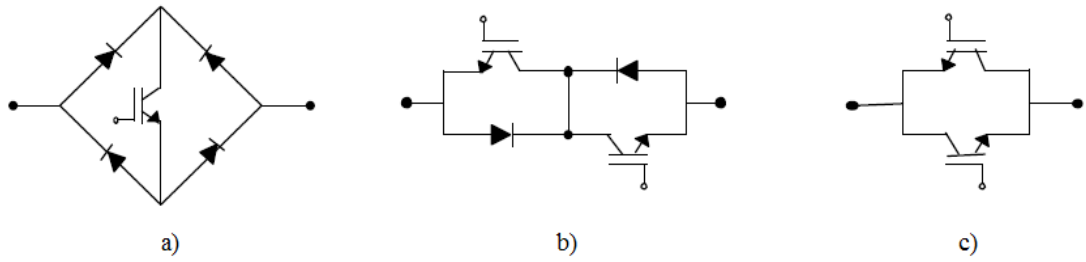
Çizelge 2.1 : Sınırlı anahtar çeşitleri [2].

Aksiyon	Cihaz	Bölgeler	Sınırlı A. Sembol	Cihaz Sembol
Akımı bir yönde iletir ve diğer yönde engeller (ileri yönde iletim, geri yönde engelleme)	Diyot			
Akımı tek yönde taşır veya engeller (ileri yönde iletim, ileri yönde engelleme)	BJT			
Akımı tek yönde iletim veya iki yönde engelleme (ileri yönde iletim, yönsüz engelleme)	GTO			
Akımı iki yönde iletim veya tek yönde engelleme (yönsüz iletim, ileri yönde engelleme)	FET			
Tamamen yönsüz iletim	İdeal Anahtar			

DGM AA kıyıcılarda dönüşüm AA'dan AA'ya doğrudan yapıldığından, anahtarlama elemanlarını seçerken dört bölgede de çalışabilen anahtarlara ihtiyaç vardır. Bu anahtarlara çift yönlü ya da yönsüz anahtarlar da denmektedir. Tanım olarak çift yönlü anahtarlar aktif olduklarında her iki yöne akımı iletebilmekte ve kapalı olduklarında

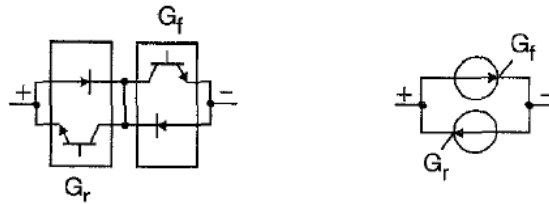
ise gerilimi her iki yönde engellemektedirler [32]. Çift yönlü anahtarlar kullanılarak doğrudan olarak AA-AA dönüşümü yapmak mümkün olmaktadır.

Çift yönlü veya yönsüz anahtarlar hazır olarak bulunan yarı iletken malzemeler değildir. Ancak diğer tek yönlü yarı iletken elemanların birleşimlerinden, çift yönlü anahtarlar elde edilmektedir [32]. Şekil 2.3'te farklı elemanlarla oluşturulmuş çift yönlü anahtarlar gösterilmektedir. Bu farklı anahtarların dizilişleri ile DGM AA kıyıcı elde edilebilmektedir. İlerleyen bölümlerde farklı devre yapıları incelenirken, farklı çift yönlü anahtar birleşimleri ile elde edilen devre tasarımları gösterilecektir.



Şekil 2.3 : Çift yönlü anahtarlar a) diyot köprülü tek IGBT b) çift ters paralel diyotlu IGBT c) çift ters paralel, ters engellemeli IGBT [32].

Dört bölgeli çalışacak anahtarı oluşturmanın en uygun ve en çok kullanılanı, çift bölgeli çalışan (Çizelge 2.1'de gösterilen FET ve ters diyotlu IGBT gibi) anahtarları ters yönlü ve seri olarak birleştirilmesi ile elde edilenidir. Şekil 2.3'te b şıkkındaki gösterim de budur. Bu birleşim ile gerilim her iki yönde engellenmekte ve ayrıca seri olan anahtarların hangisinin sürüldüğüne bağlı olarak istenilen yönde akım akıtabilmektedir [33].

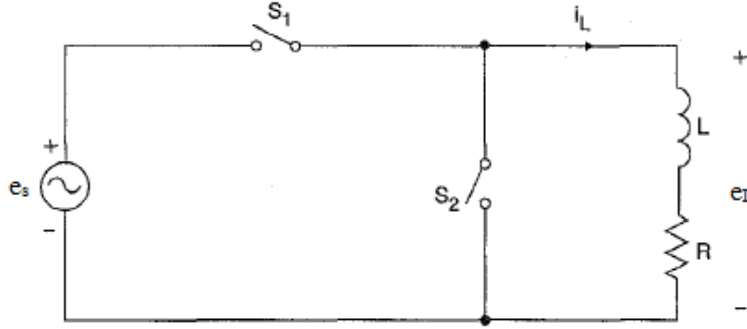


Şekil 2.4 : Dört bölgeli anahtar yapısı ve eşdeğer sembolü [33].

2.2 Çalışma Prensibi

DGM AA kıyıcıların çalışma prensibini açıklamak için öncelikle basit devre ve kontrol stratejileri üzerinden başlanmıştır. Alternatif akım kıyıcının birçok farklı devre tasarımı ve kontrol stratejisi bulunmaktadır. Bu farklılıklar çalışmanın devamında

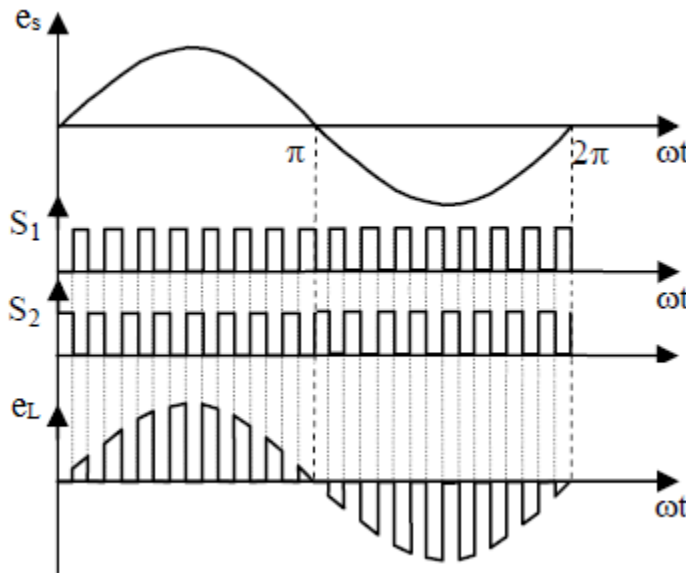
detaylı bir şekilde incelenmiştir. DGM AA kıyıcıların temel çalışma prensibini açıklamak için, ideal anahtarlardan oluşturulan devresi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5 : DGM AA kıyıcı devresi ve endüktif yük [33].

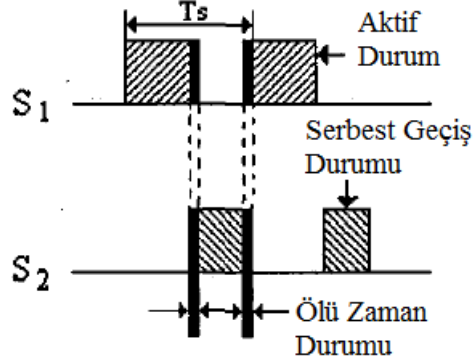
Şekil 2.5'teki DGM AA kıyıcı devresi, gerilim kaynağı e_s , anahtarlama elemanları ve endüktif yükten oluşmaktadır. Burada S_1 ve S_2 anahtarları dört bölgede çalışabilen çift yönlü anahtarlardır.

DGM AA kıyıcının çalışması şu şekildedir; S_1 anahtarı aktif ve S_2 kapalı olduğu durumda besleme gerilimi yüke aktarılmaktadır. S_2 anahtarı aktif ve S_1 kapalı olduğu durumda ise besleme gerilimi yüke ulaşamamakta, yük gerilimi sıfır olmakta ve yük kendi uçlarından kısa devre edilmektedir. S_1 ve S_2 birbirleri ile zıt bir şekilde tetiklenmektedir. Bu anahtarları süren DGM sinyalinin doluluk oranı çıkış geriliminin etkin değerini belirlemektedir. Şekil 2.6'da ilk önce giriş gerilimi e_s , anahtarlama elemanlarının kontrol sinyalleri ve e_L çıkış gerilimi dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : DGM AA kıyıcı giriş, çıkış gerilim dalga şekilleri ve anahtarların kontrol sinyalleri [14].

DGM AA kıyıcıların üç tane çalışma durumu bulunmaktadır. Şekil 2.6 gösterilen anahtar işaretleri ve Şekil 2.7’de gösterilen bu anahtarlama işaretlerindeki çalışma durumları gösterilmiştir. Şekil 2.6’daki anahtarlama sinyallerinin daha yakından ve detaylı görüntüsünü oluşturan Şekil 2.7’de çalışma durumları ve periyot içerisinde bulundukları yerler gösterilmektedir.



Şekil 2.7 : Alternatif akım kıyıcı çalışma durumları [9].

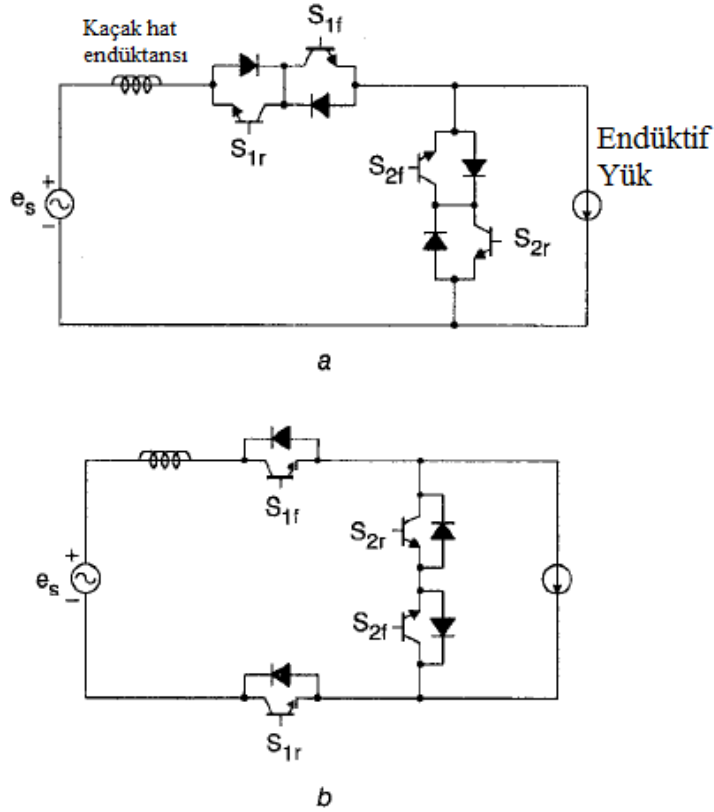
DGM AA kıyıcıların çalışma durumları üç parçadan oluşmaktadır. Bunlar aktif durum, serbest geçiş durumu ve ölü zaman durumudur [15].

1. Aktif durum S_1 anahtarının aktif olduğu duruma denilmektedir. Aktif durum boyunca endüktif akım güç kaynağından yüke akmaktadır. Böylelikle yükten veya yüke doğru güç akışı sağlanmaktadır.
2. Ölü zaman durumu S_1 ve S_2 anahtarlarının ikisinde kapalı olduğu durumdur. S_1 ve S_2 anahtarlarının arasında geçiş yapılırken, ölü zaman durumu oluşmaktadır. Bunun sebebi ise, anahtarlama fonksiyonlarının gerçek yarı iletken anahtarları aktif duruma sokmasındaki gecikmeler ve bu gecikmelerden doğabilecek kısa devre durumlarını engellemektir. Çünkü S_1 ve S_2 anahtarı aynı anda aktif olduğunda besleme gerilimi kendi üzerinden kısa devre olmaktadır. Bundan dolayı, ölü zaman anahtarlama fonksiyonu üzerine istenilerek konulan ve mümkün olduğunca kısa süreli bir durumdur. Fakat bu durum devrenin güvenli çalışması konusunda başka problemler doğurmaktadır. Ölü zaman durumunda yük üzerinde biriken enerji ve endüktif akım için akabileceği yollar teşkil edilmelidir. Eğer akım yolları ayarlanmaz ise yüksek darbeli gerilim değerleri oluşmakta ve yarı iletken anahtarlara zarar vermektedir.

3. Serbest geçiş durumunda S_2 anahtarı aktif olmakta ve endüktif akım kendisi üzerinden serbest geçiş yapabilmektedir. Besleme geriliminden yüke doğru bir güç akışı olmamaktadır [15].

2.2.1 Tek Fazlı DGM AA Kıyıcılar

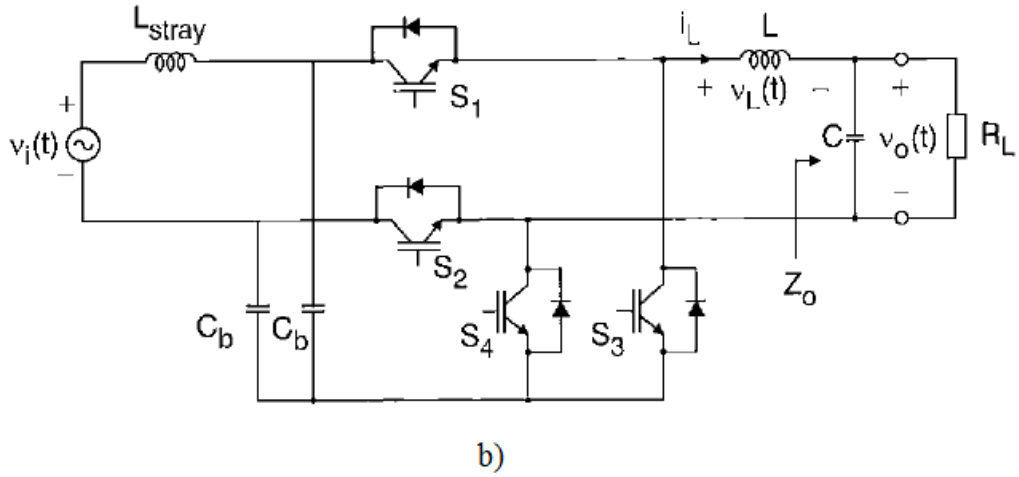
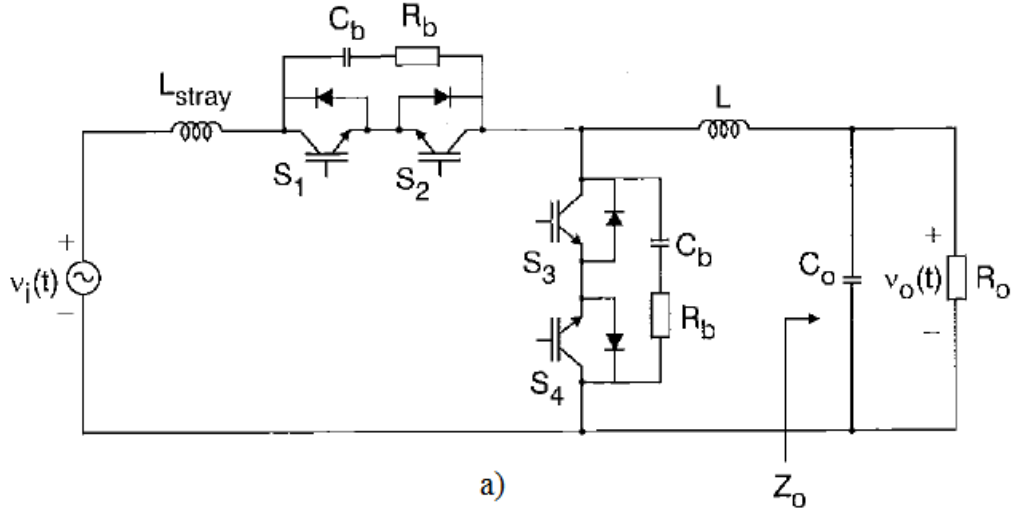
Tek fazlı DGM AA kıyıcılarının çalışma prensiplerini daha detaylı açıklayabilmek için, Şekil 2.5'te verilen ideal anahtarlarla oluşturulan devrenin yerine, yarı iletken ve yönsüz iletim yapabilen anahtarlı tasarımların incelenmesi gerekmektedir. DGM AA kıyıcıları oluşturan farklı devre tasarımlarında farklı anahtarlama elemanları kullanılmakta ve bunlar hakkındaki teknik detaylar ön bilgiler başlığında açıklanmıştır. Şekil 2.5'teki temel devre yapısı gerçek yarı iletken elemanlarla oluşturulduğunda Şekil 2.8'deki devre tasarımları elde edilmektedir.



Şekil 2.8 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı devreleri a) dört bölge çalıştırılan anahtarlarla oluşturulan tasarım b) iki bölge çalıştırılan anahtarlarla oluşturulan tasarım [33].

Birbirine seri ters bağlı dört bölge çalıştırılan anahtarlar ile yönsüz güç akışı sağlanabilmekte ve Şekil 2.5'teki anahtarlar yerine koyularak Şekil 2.8'deki ilk tasarım elde edilmektedir. S_1 ideal anahtarı yerine, S_{1f} ve S_{1r} adlarında birbirine ters

bağlı dört bölgede çalışan anahtar görülmektedir. S_{1f} ileri yönde akım akmasını sağlarken, S_{1r} de besleme gerilimine doğru akımın akmasını sağlamaktadır. S_2 anahtarı endüktif yük için akım yolu oluşturmak ve yük gerilimini sıfır yapmakta iken, S_{2f} ve S_{2r} ile hem ileri hem geri yönde akım akıtabilmektedir.



Şekil 2.9 : DGM AA kıyıcı devreleri a) standart AA sönümleyicili tasarım b) DA sönümleyicili tasarım [34].

DGM AA kıyıcı devreleri temel olarak iki ana farklı tasarımdan oluşturulmaktadır. Tasarımlar oluşturulurken AA kıyıcıların çalışma durumları ve özellikle ölü zaman durumu düşünülmüştür. Bu tasarımların birbirinden ayıran temel nokta, ölü zaman durumunda endüktif yükteki akım için akabileceği yolların farklılığıdır. Komutasyon olarak adlandırılan bu süreçte, bir tasarım yükte birikmiş enerjiyi ve akımı AA sönümleyiciler üzerinden harcanması ile yüksek gerilim dalgalarına karşı önlem oluşturmaktadır. Diğer tasarım ise DA sönümleyiciler ve özel bir kontrol stratejisi ile

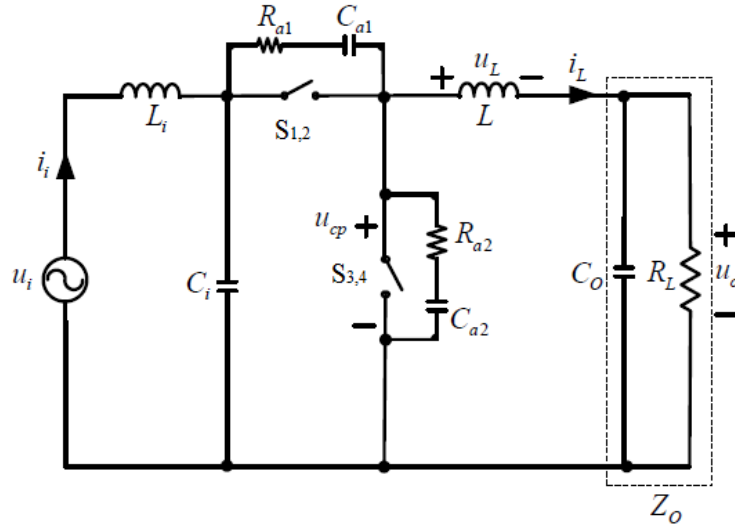
alternatif bir akım yolu oluşturarak bu enerjiyi geri kazanmayı ve verimi arttırmayı hedeflemektedir. Şekil 2.9'da bu tasarımlar gösterilmiştir. Şekil 2.9'da gösterilen ilk (a) tasarım daha standart olarak kullanılan, kontrolü daha kolay ve AA sönümleyicilere sahip olan tasarımdır. İkinci (b) gösterilen tasarım ise, DA sönümleyiciler ile oluşturulan, komutasyon problemini ve endüktif yük akımı sorununu kontrol yöntemini farklılaştırarak çözen tasarım gösterilmiştir.

2.2.1.1 AA sönümleyicili DGM AA kıyıcılar

DGM AA kıyıcı devresi ve tasarımında AA sönümleyici içeren, ölü zaman durumlarında oluşan istenmeyen gerilim darbelerini sönümleyiciler üzerinde enerji harcatılarak önleyen, kontrolü daha kolay ve geleneksel DGM olarak kullanılan DGM AA kıyıcılardır.

Şekil 2.9 (a)'da gösterilen devre şemasında AA sönümleyicili DGM AA kıyıcı görülmektedir. Şekilde iki adet yönsüz anahtar yapısından oluşmaktadır. Bu anahtarlara paralel olarak, C_b kapasitesi ve R_b direnci ile oluşturulan AA sönümleyici eklenmiş ve ölü zaman durumlarında endüktif yük akımlarının akması için yön oluşturulmuştur. Buradaki direnç sayesinde, bu endüktif akım zayıflatılmakta ve gerilim darbelerinin oluşması engellenmektedir. Şekil 2.9 (a)'da gösterilen tasarımda, AA sönümleyici devrenin çalışma prensibini, farklı durumlardaki akım akış yollarını ve çalışmasını anlatmak için Şekil 2.10 sunulmuştur. Burada anahtarlar tek tek gösterilmek yerine daha rahat anlaşılması için sade bir şekilde gösterilmiştir. Şekil 2.10'da gösterilen yönsüz anahtarlar olan $S_{1,2}$ ve $S_{3,4}$ 'nin anahtar numaraları, Şekil 2.9'la uyumlu bir biçim de gösterilmiştir. Burada yönsüz anahtarlar, farklı tiplerden seçilerek de oluşturulabilmektedir ve çalışma prensibinde bir farklılık olmamaktadır. Örneğin, dört diyotlu ve bir anahtarlı yönsüz anahtar yapısından iki adet kullanılarak da sistem tasarlanabilmektedir [22] [35].

Alternatif akım kıyıcı için önerilen AA sönümleyicili tasarım Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Devrenin besleme girişi u_i gerilimidir. Giriş filtresini oluşturan L_i bobini ve C_i kapasitesi, yüksek frekanslı harmonik bileşenleri sönümlemek içindir. $S_{1,2}$ ve $S_{3,4}$ anahtarları birbirlerine ters olarak çalışmaktadır, biri aktif iken diğeri kapalı olmak zorundadır. İki anahtarın aynı anda açık olması ile giriş gerilimi kısa devre olmaktadır, bu durumu engellemek için iki anahtarın kontrolü sinyali arasına kısa zamanlı olarak ölü zaman konulmaktadır.



Şekil 2.10 : AA sönümleyicili DGM AA kısıyıcı devre topolojisi [22].

Ölü zaman durumunda iki anahtar da kapalı durumdadır. Fakat bu durumda endüktif yük veya çıkış filtresi anahtarlar üzerinde yüksek mertebeli gerilim darbeleri oluşturmaktadır. Anahtarlama yapılırken, bu gerilim darbeleri anahtarlama kayıplarını arttırmakta ve güç aktarım verimini azaltmaktadır. Hatta bu gerilim değerleri çok yükselip yarı iletken malzemelerin delinme değerlerini aşarsa anahtarları yakma ve bozma ihtimali vardır [22].

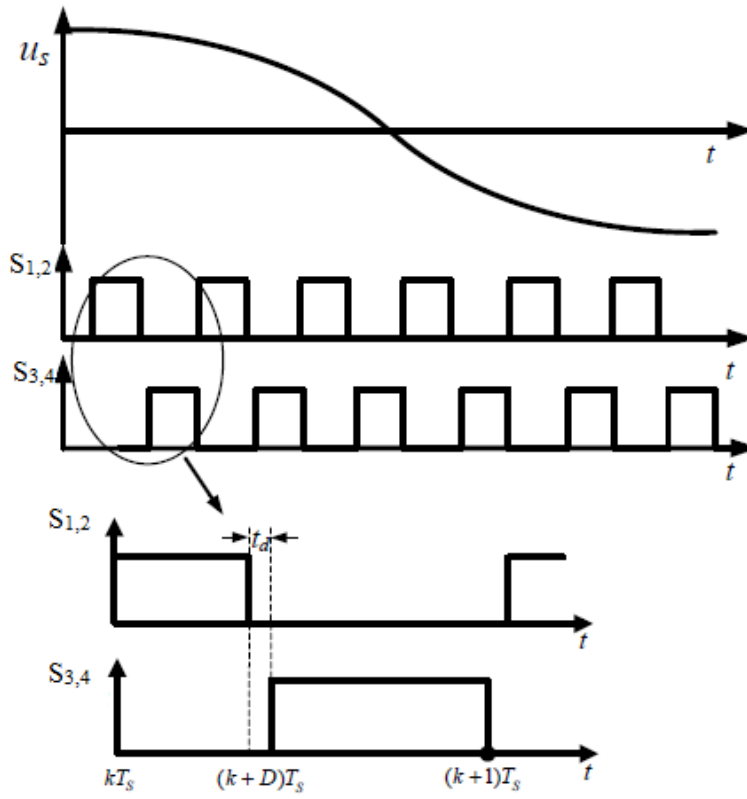
Devre tasarımına AA sönümleyiciler eklenerek darbe gerilimlerine çözüm üretilmiştir. Sönümleyici seri olarak bağlı direnç ve kapasiteden oluşmaktadır, böylelikle ölü zamanda oluşan gerilim darbeleri sönümlenecektir. Bununla dönüştürücünün güvenliği sağlanmış olacaktır. Çıkış filtresi olarak L_o ve C_o olarak seçilmiş ve böylelikle çıkış gerilimindeki yüksek frekanslı bileşenler elenmektedir.

Alternatif akım kısıyıcının kontrolü DGM ile yapılmaktadır, $S_{1,2}$ ve $S_{3,4}$ anahtarları birbirlerinin tersi olarak çalışmaktadır. Şekil 2.11’de bu kontrol işaretleri ve ölü zaman (t_d) gösterilmektedir.

Kontrol stratejisinin giriş gerilimi veya akımının değeriyle, yönüyle veya fazı ile bir ilişkisi yoktur. Bu komutasyon yöntemi, devre tasarımını, kontrol kolaylığı ve giriş işaretlerinin yanlış değerlendirilmesi ihtimalinin olmaması gibi avantajları beraberinde getirmektedir [22].

Anahtarlama frekansı (f_s), giriş geriliminin frekansından çok yüksek olduğundan u_i giriş gerilimi ve u_o çıkış gerilimi anahtarlama periyodunda sabit kabul edilebilir. Şekil 2.10’da gösterilen AA kısıyıcının, $u_i > 0$ olduğu, besleme geriliminin pozitif yönde

olduğu durumda ele alınarak çalışma durumları komutasyon ve kontrol stratejileri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

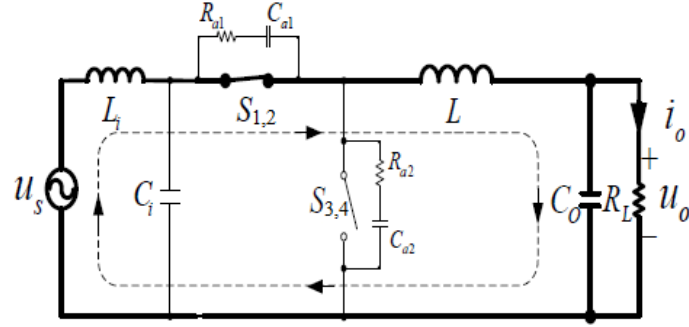


Şekil 2.11 : DGM AA kıyıcı ve kontrol işaretleri [22].

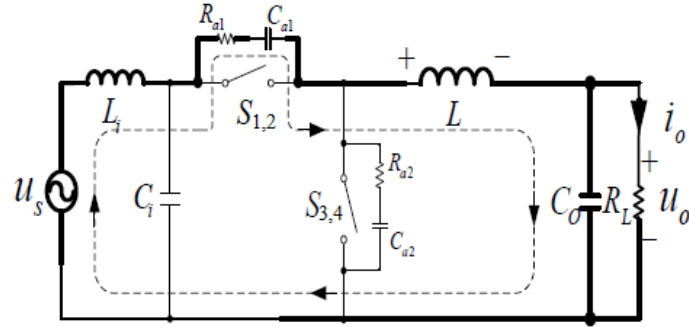
Şekil 2.11’de gösterilen kontrol işaretlerinde dikkat edilerek, DGM AA kıyıcı $kT_s - (k+D)T_s$ aralığında aktif durumda olup, $S_{1,2}$ anahtarı aktif ve $S_{3,4}$ kapalı durumdadır. Şekil 2.12(a)’da gösterildiği gibi, akım u_i - L_i - S_1 - L - R_L sıralamayısıyla akmaktadır. L endüktansı güç depolamakta ve i_L artmaktadır. Orta uç gerilimi u_{cp} , giriş gerilimi u_i eşit olmaktadır. Aktif durumda güç giriş tarafından, yüke doğru akmaktadır.

İdeal olarak $(k+D)T_s$ anında, $S_{1,2}$ kapalı olmalı ve $S_{3,4}$ aktif duruma geçmelidir. Fakat güvenli bir komutasyon ve anahtarlama elemanlarını korumak için, ölü zaman durumu eklenmektedir. $(k+D)T_s - (k+D)T_s + t_d$ zaman aralığında, iki anahtar da kapalı ve ölü zaman durumundadır. Ölü zaman durumunda, endüktif akımın anlık kesilmesinden dolayı gerilim darbeleri oluşmaktadır.

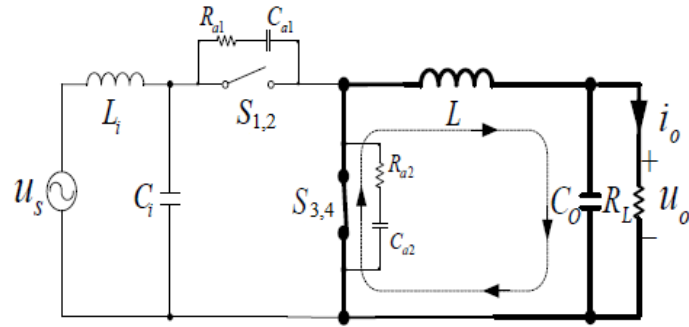
Bu darbeler anahtarlama elemanlarını bozabilmekte ve yüksek anahtarlama kayıplarına sebep olmaktadır. Direnç R_{a1} ve kapasite C_{a1} ’den oluşan AA sönümleyiciler, bu darbeleri azaltmaktadır. Şekil 2.12(b)’de gösterilen ölü zaman durumunda, akım yolu u_s - L_i - R_{a1} - C_{a1} - L - R_L sırasıylaadır.



(a)



(b)

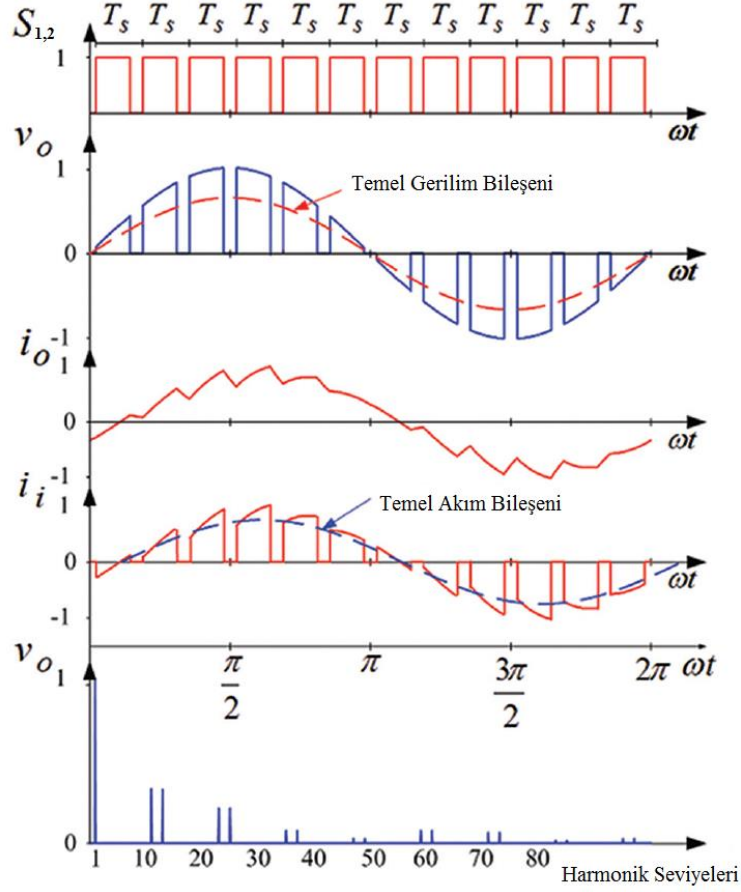


(c)

Şekil 2.12 : AA sönümlü DGM AA kısıyıcının komutasyon ve çalışma durumları a) aktif durum b)ölü zaman durumu c)serbest geçiş durumu [22].

$S_{3,4}$ anahtarı aktif olduğu, $(k+D)T_s+t_d$ ile $(k+1)T_s$ aralığı da serbest geçiş durumudur. $S_{1,2}$ kapalı durumda ve $S_{3,4}$ aktif durumdadır. Endüktans akımı yük etrafında serbest geçiş yapmaktadır. Akımın izlediği yol $S_{3,4}$ -L- R_L şeklindedir. Şekil 2.12(c)'de komutasyon ve akımın yolları gösterilmiştir [22].

Şekil 2.13'te açıklanan kontrol ve komutasyon yöntemine, önerilen devre tasarımına göre uygulanan tek fazlı alternatif akım kısıyıcının grafikleri gösterilmiştir. Bu grafiklerde, aktif durumu ifade eden $S_{1,2}$ anahtarının tetiklenme işareti, çıkış gerilimi v_o , çıkış akımı i_o , giriş akımı i_i ve çıkış geriliminin harmonik bileşenleri gösterilmiştir.



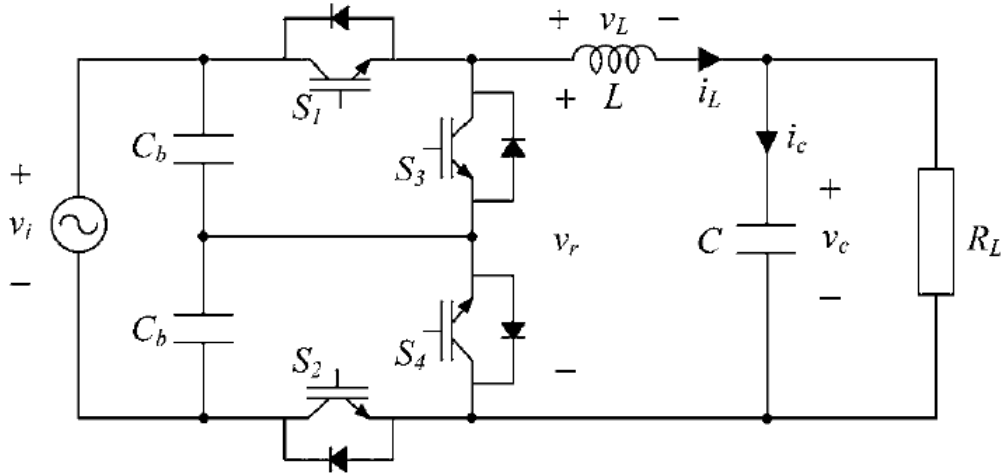
Şekil 2.13 : AA kıyıcı dalga grafikleri [35].

2.2.1.2 DA sönümleyicili DGM AA kıyıcılar

AA sönümleyiciler, seri şekilde bağlı RC sönümleyiciden oluşmaktadır. Bu da güç kayıplarına sebep olmakta ve sistem üzerinde ciddi bir yük oluşturmaktadır. Özellikle DGM AA kıyıcının güç kapasitesi arttığında, RC sönümleyicilerin kaybı da artmaktadır. Bundan dolayı RC sönümleyicili devre yapıları pahalı, sönümleyici boyutlarından ötürü hantal ve yüksek güçlerde verimleri daha düşüktür.

Şekil 2.9(b)'de gösterilen DA sönümleyicili devre topolojisi akıllı bir DGM sürüş tekniği ile birlikte gerilim darbeleri önleyen güvenli bir komutasyon önermektedir. Anahtarlama fonksiyonları, giriş geriliminin yönüne ve değerine göre belirlenmektedir. RC sönümleyiciler güç kayıplarına sebep olduğundan ötürü kullanılmamaktadır. Onların yerine sadece kapasiteden oluşan C_b sönümleyiciler kullanılmaktadır. Yönsüz anahtar yapısındaki anahtar yapısı değiştirilerek, devre yapısı bağımsız olarak çift bölgeli çalışan anahtarlardan oluşturulmuştur. Devreyi oluşturan dört anahtarın kontrol işaretleri birbirinden farklıdır. Fakat dizilişleri sayesinde AA kıyıcı devresine uygun olarak yönsüz bir akım akışını sağlamaktadırlar.

Anlatılacak olan bu devre topolojisi yüksek güç faktörü, düşük harmonikler, yüksek verim, yüksek güvenilirlik, hızlı dinamik, kolay uygulanabilirlik, yüksek güç kapasitesi ve filtre boyutlarında küçüklük gibi avantajlara sahiptir [15].

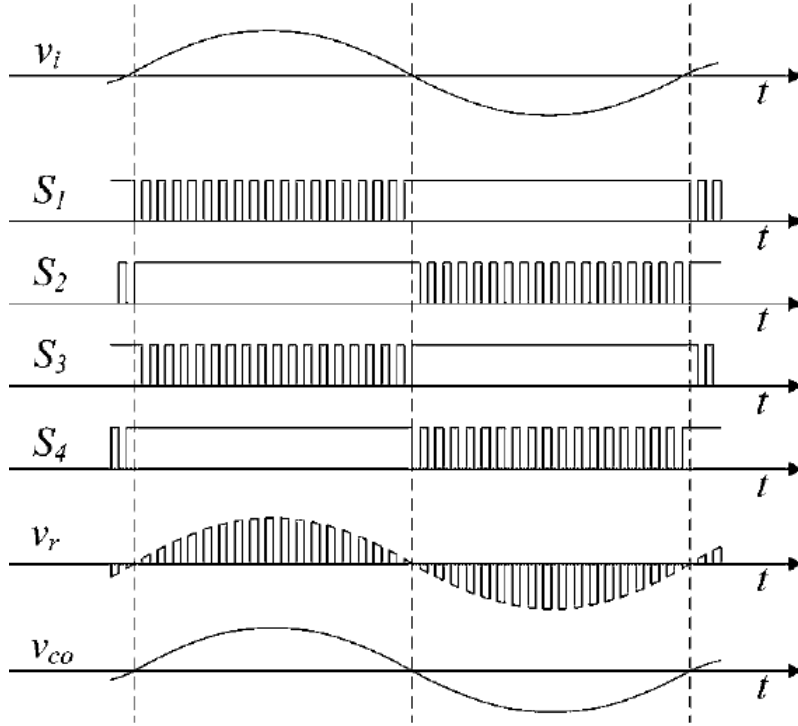


Şekil 2.14 : DA sönümleyicili DGM AA kıyıcı devresi [24].

Şekil 2.14'te önerilen DA sönümleyicili DGM AA kıyıcı devresi gösterilmiştir. RC sönümleyiciler yerine DA sönümleyici olarak sadece C_b kapasiteleri sönümleyici olarak bağlanmıştır. Bu sönümleyiciler devre yolları ve kablolar üzerindeki hat endüktansı etkisini ortadan kaldırmak için konulmuştur. Sadece kapasiteden oluşan devreleri enerji tüketmemekte ve enerjiyi geri kazanabilmektedir. Bundan dolayı DA sönümleyicili olarak adlandırılmaktadırlar.

Şekil 2.14'de gösterilen DGM AA kıyıcı dört anahtardan oluşmaktadır. S_1 ve S_2 dönüştürücünün aktif çalışma durumunda yük akışını sağlamakta, S_3 ve S_4 anahtarları ise serbest geçiş durumunu sağlayan anahtarlardır. Çıkış gerilimindeki harmonikleri sönümlemek için çıkışta L filtre endüktansı ve C kapasitesi bulunmaktadır. Endüktansta biriken enerjiyi sönümlemesi için, yarı iletken malzemelere paralel olarak DA sönümleyici yani C_b kapasiteleri takılmıştır [24].

Yarı iletken anahtarların anahtarlama fonksiyonları oluşturulurken, giriş geriliminin yönüne bakılmaktadır. Şekil 2.15'te giriş gerilimi ve onun yönüne göre oluşturulmuş anahtarlama fonksiyonu görülmektedir. Anahtarlama fonksiyonu giriş geriliminin yönüne göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 2.15 : DA sönümleyicili AA kıyıcının dalga şekilleri ve anahtarlama fonksiyonları [24].

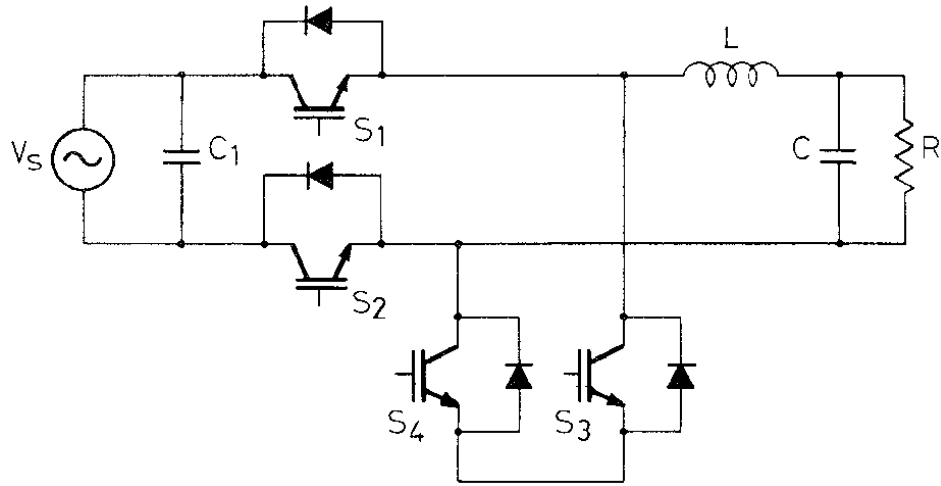
Önerilen komutasyon ve anahtarlama fonksiyonunda, eğer giriş gerilimi sıfırdan büyük ise S_2 ve S_4 anahtarı sürekli aktif tutulmaktadır. Fakat pozitif yarım periyotta akım ve yük akışını sağlayan, S_1 ve S_3 belirli bir doluluk oranı ve dalga genişlik ile modüle edilmektedir. S_1 ve S_3 birbirlerinin tersi olarak çalışmaktadır. Aynı şekilde giriş gerilimi sıfırdan küçük ise S_1 ve S_3 anahtarı sürekli aktif tutulmaktadır. Fakat negatif yarım periyotta akım ve yük akışını sağlayan S_2 ve S_4 darbe genişlik ile modüle edilmektedir. Böylelikle anahtarlama durumlarındaki, ölü zaman durumlarında endüktif akım için her zaman bir yol açık olmaktadır. Ayrıca yarım periyotta iki anahtarın sürekli açık kalması ile anahtarlama kayıpları da ciddi olarak azalmaktadır [15].

Daha geleneksel yöntem ile kıyaslayacak olursak, S_1 ve S_2 anahtarı aynı işaretle, S_3 ve S_4 anahtarı aynı fakat diğerinin tersi olarak sürülmekte idi. Fakat giriş geriliminin işaretine göre anahtarların yarısı gereksiz olarak sürekli tetiklenmekte ve kayıplara sebep olmaktadır. Anahtarlama işaretlerinin, giriş gerilimine göre oluşturulması Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 : Anahtarlama fonksiyonu ve çıkış gerilimi [14].

	S_1	S_3	S_2	S_4	U_o	
					$\dot{I}_L > 0$	$\dot{I}_L < 0$
$U_s > 0$	1	0	1	1	U_s	U_s
	0	0	1	1	0	U_s
	0	1	1	1	0	0
$U_s < 0$	1	1	1	0	U_s	U_s
	1	1	0	0	U_s	0
	1	1	1	1	0	0

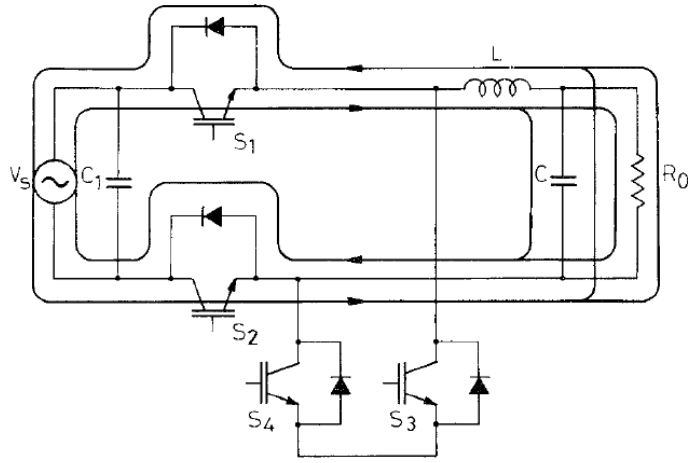
Yeni önerilen komutasyon tekniğinin çalışma durumları incelendiğinde, ölü zamanlar da bile endüktif akıma nasıl yol verildiği gösterilmiştir. Çalışma durumlarını ve akım akış yollarını göstermek için daha sade devre yapısına sahip Şekil 2.16'daki devre çizimi kullanılmıştır.



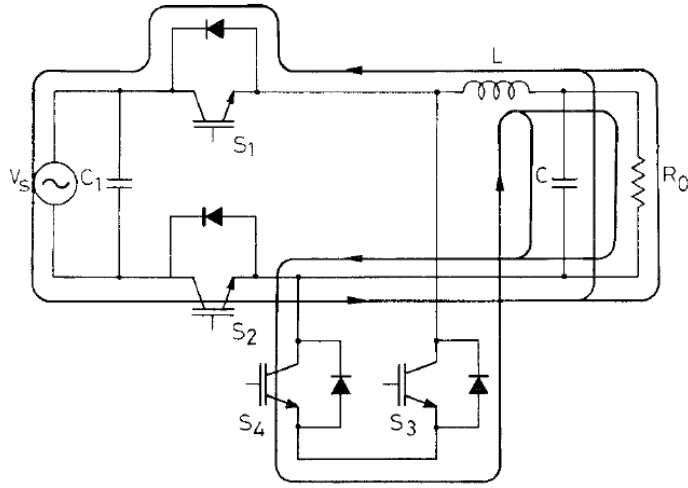
Şekil 2.16 : DGM AA kıyıcı devresi [15].

Çalışma durumları üçe bölünmektedir, aktif durum, ölü zaman durumu ve serbest geçiş durumu. Önceki başıklarda açılanan çalışma durumları ve özellikleri DA sönümleyicili DGM AA kıyıcılar için de farklı değildir. Yeni anahtarlama fonksiyonu ve komutasyon yöntemi ile birlikte ölü zaman durumundaki gerilim darbeleri önlenmekte hem güvenlik hem de verim arttırılmaktadır. Şekil 2.17'de bu komutasyon yöntemi ile sürülen DGM AA kıyıcının çalışma durumları gösterilmiştir.

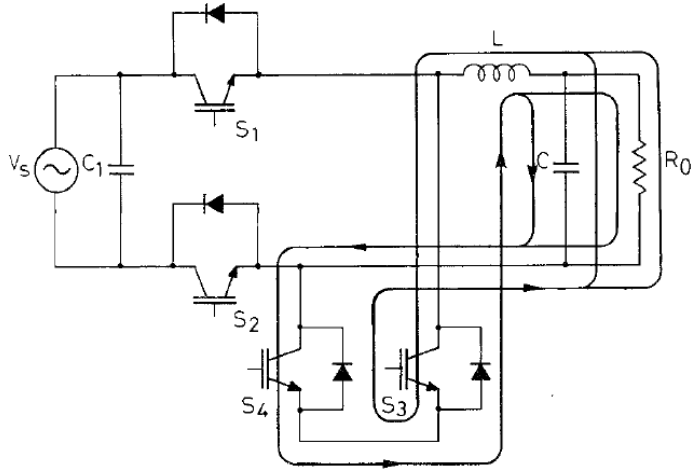
Şekil 2.17'de DGM AA kıyıcı için çalışma durumları, akım akış yolları ve çalışma durumlarında hangi anahtarların açık oldukları verilmiştir. Anahtar durumları giriş geriliminin pozitif yarı periyotta olduğu duruma göre yazılmışlardır. Şekil 2.17'de verilen anahtar durumları ile Çizelge 2.2'deki tablo birbiri ile uyum içerisindedir.



AA kıyıcı Aktif Durum: S_1, S_2, S_4 : Aktif S_3 : Kapalı



AA kıyıcı Ölü Zaman Durum: S_2, S_4 : Aktif S_1, S_3 : Kapalı



AA kıyıcı Serbest Geçiş Durum: S_2, S_3, S_4 : Aktif S_1 : Kapalı

Şekil 2.17 : DA sönümleyicili DGM AA kıyıcı çalışma durumları [15].

Sadece çalışma durumlarındaki aktif olan anahtarlara ek olarak, giriş geriliminin işaretine göre iki anahtar sürekli olarak aktif konumda tutulmaktadırlar. Komutasyonun nasıl olduğunu açıklamak için giriş geriliminin pozitif değerinde olduğunu varsayılmıştır. Şekil 2.17’de de görüldüğü gibi, aktif durumda S_1 , S_2 ve S_4 anahtarları aktif konumdadır. Aktif konumdan serbest geçiş durumuna geçerken, S_1 anahtarı aktif konumdan kapalıya ve S_3 anahtarı kapalı konumdan aktif duruma geçmesi gerekmektedir.

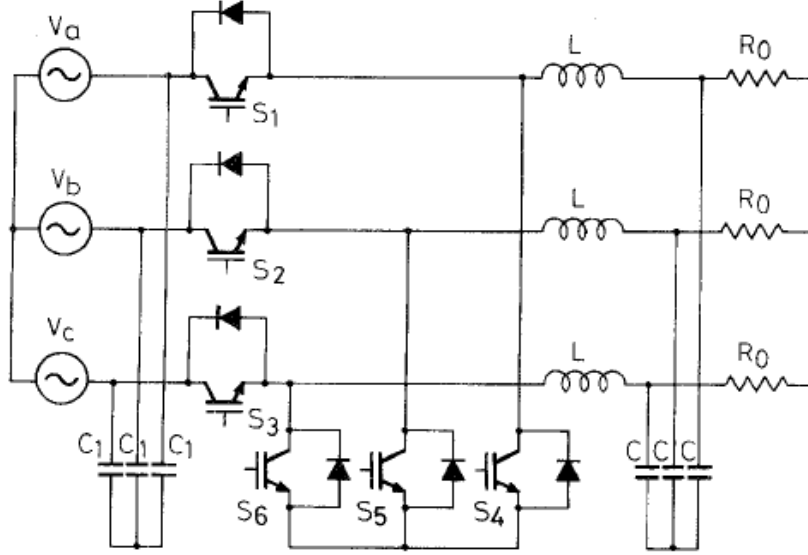
Önerilen özel komutasyon ve kontrol yönteminde, ölü zaman durumunda S_1 ve S_3 anahtarı kapalı olsa dahi S_2 ve S_4 anahtarı aktif durumdadır. Şekil 2.17’de ikinci şemada olan ölü zaman grafiğinde bu durum görülmektedir. S_2 ve S_4 anahtarının ölü zaman durumunda aktif olmasından dolayı, endüktif akım hangi yönde akıyor olursa olsun her zaman giriş gerilimi üzerinden yol bulmaktadır. Endüktif akımda kesintiler olmadığından dolayı da darbe gerilimleri oluşmamakta, kayıplar azalmakta ve sistemin zarar görmesi engellenmektedir. Aynı yöntem giriş gerilimi negatif yönde iken, pozitif yönde yük akışını sağlayan S_1 ve S_3 anahtarı sürekli aktif durumda tutulursa ölü zaman durumlarında komutasyon problemi oluşmayacaktır [33].

DA sönmüleyicili ve farklı komutasyonlu DGM AA kıyıcılar güvenli çalışma ve verimlilik avantajlara sahip iken, giriş geriliminin değerinin okunması ve ona göre anahtarlama fonksiyonu ürettiğinden dolayı gerçekleştirmesi daha karışık bir dönüştürücüdür. Çıkış grafikleri geleneksel kontrol yönteminden teknikte farklı değildir.

2.2.2 Üç Fazlı DGM AA Kıyıcılar

Üç fazlı AA kıyıcılar, tek fazlı AA kıyıcılar başlığında açıklanan prensiplerle aynı özelliklere sahiptirler. Tek fazlı kıyıcı tasarımlarında bulunan, iki bölgeli çalışan anahtarlardan oluşturulan dört anahtarlı yapıya iki anahtar ilave edilerek üç fazlı tasarım elde edilmektedir. Şekil 2.18’de üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi gösterilmektedir.

Şekil 2.18’de gösterilen üç fazlı DGM AA kıyıcı tasarımı incelendiğinde, tek fazlı DGM AA kıyıcının prensibi ile aynı olduğu görülmektedir. Şekil 2.16’da verilen tek fazlı DGM AA kıyıcı devresine ilave olarak, birbiri ile ters çalışan iki anahtar daha üçüncü faz için ilave edilmiştir. Tek fazlı tasarımda S_1 ve S_2 aktif durum anahtarları iken, üç fazlı tasarımda S_1 , S_2 ve S_3 anahtarları aktif durumda çalışan anahtarlardır.



Şekil 2.18 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı [15].

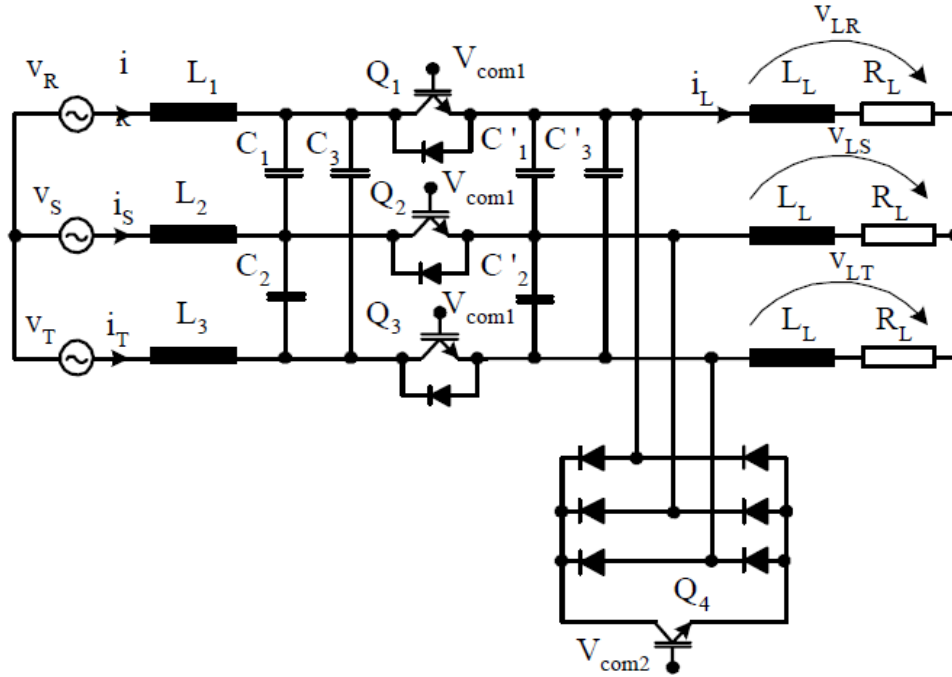
Üç fazlı DGM AA kıyıcıda, S_1 anahtarının tersi S_4 , S_2 anahtarının tersi S_5 ve S_3 anahtarının tersi olarak da S_6 bulunmaktadır. Böylelikle üç faz için ayrı ayrı hem aktif hem de serbest geçiş durumları için anahtarlar bulunmaktadır.

AA kıyıcıları oluşturan anahtarların farklılık gösterebileceğinden ve farklı yönsüz anahtarlama da kıyıcı tasarımlarında kullanılabileceğinden bahsedilmişti. Aynı şekilde üç fazlı sistemlerde de bu geçerlidir. Serbest geçişi sağlayan üç anahtar yerine altı adet diyot ve tek anahtar da kullanılabilmektedir. Şekil 2.19’da gösterilen üç fazlı AA kıyıcı devresi, dört anahtarlama elemanı ve diyotlardan oluşturulmuştur. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, serbest geçiş durumunda sadece Q_4 anahtarı aktif duruma geçmekte ve yük akımı hangi yönde olursa olsun, diyotlar sayesinde kendi üzerinden yolunu tamamlayabilmektedir. Fakat dört anahtarlı topolojide, serbest geçiş anahtarı tek olduğundan dolayı kontrol yöntemi olarak kısıtlıdır.

Üç fazlı DGM AA kıyıcılar da iki temel komutasyon tekniğine ve devre yapısına sahiptirler. Tek fazlı DGM kıyıcılarda da olduğu gibi, AA sönümleyicili tasarımlar ve DA sönümleyicili tasarımları bulunmaktadır.

Üç fazlı DGM AA kıyıcıların kullanım amacı üç fazlı yüklere giden çıkış gerilimin etkin değerinin değiştirilmesi ve kontrollü yük akışını sağlamasıdır. Tek fazlı sistemlerde gösterilen çıkış gerilim ve çıkış akım karakteristiklerine sahiptirler. Özellikle üç fazlı kullanılan yüklerin gerilim ayarı, asenkron motorların hız ayarı veya

aydınlatma sistemlerinde parlaklık ayarlaması gibi birçok uygulama alanına sahiptirler.



Şekil 2.19 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı 4 anahtarlı devresi [23].

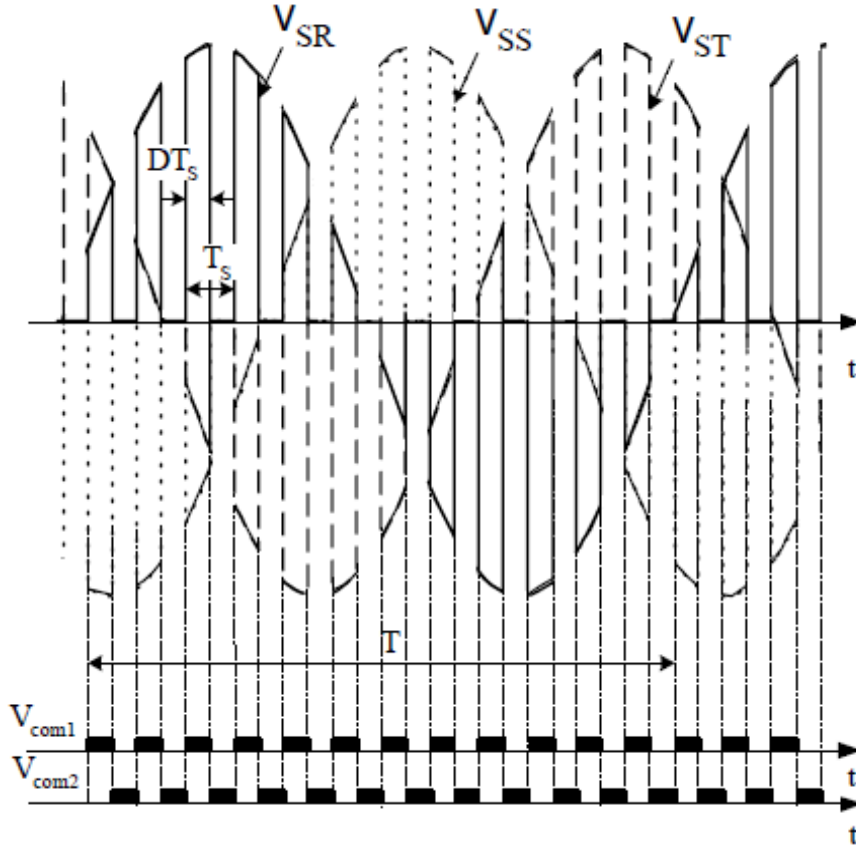
Üç fazlı DGM AA kıyıcılar için geçerli olan bir kullanım yöntemi daha vardır. Üç fazlı besleme geriliminde dengesizlikler oluştuğunda, yük akımlarında oluşabilecek dengesizliği giderebilmektedirler. Bu da her faz üzerindeki anahtarların birbirinden farklı doluluk oranı ile modüle edilmesi mümkün olmaktadır.

2.2.2.1 AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar

AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların kontrolü ve komutasyon yöntemi, tek fazlı AA sönümleyici tasarımlar ile aynıdır. Üç fazlı DGM AA kıyıcı içerisindeki tüm aktif durum anahtarları aynı anda sürülmekte ve tüm serbest geçiş anahtarları da bunlara ters çalışmaktadırlar. Ölü zaman durumunda oluşan gerilim darbeleri, AA sönümleyici olan RC devreleri ile sönümlenmektedir.

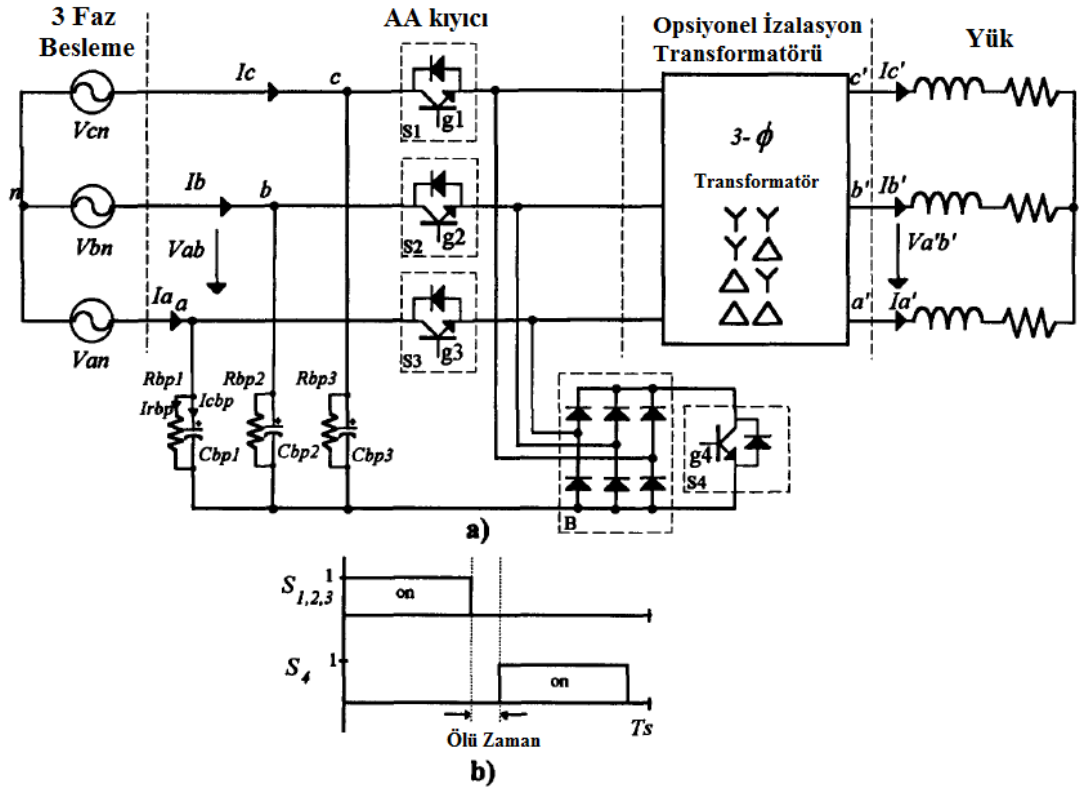
Üç fazlı DGM AA kıyıcılar içerisinde serbest geçişi diyotlar ile sağlayan devre yapıları AA sönümleyicili olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.19'da verilen üç fazlı kıyıcı devresinde görülen bu yapıda, V_{com1} işaretli anahtarların hepsi aktif duruma geçtiğinde, üç fazlı besleme girişinden yüke doğru güç akışı olmaktadır. Aynı şekilde V_{com2} anahtarı aktif olup, V_{com1} anahtarları kapalı olduğunda ise yük gerilimi sıfır olmakta ve endüktif yük akımı kendi üzerinden serbest geçiş yapmaktadır. Şekil

2.20’de AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcının anahtarlama fonksiyonu, kontrol işaretleri ve çıkış gerilimi görülmektedir.



Şekil 2.20 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı kontrol sinyalleri ve çıkış gerilim dalga şekilleri [23].

AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi ve kontrol işaretleri Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Şekil 2.20 ve Şekil 2.21(b) kontrol işaretleri uyumluluk göstermektedir. S_1 , S_2 ve S_3 anahtarları üç fazlı besleme ile yük arasındaki akışı yani aktif durumda çalışmayı sağlamaktadırlar. S_4 anahtarı ise endüktif yük akımlarının serbest geçiş yapmasını sağlamaktadır. $C_{bp1,2,3}$ kapasitesi ise Şekil 2.21(b)’de gösterilen ölü zaman aralığında yük akımını atlatmak için kullanılmıştır. Ölü zaman aralığı S_1 , S_2 ve S_3 anahtarları ile S_4 anahtarının aktif çalışmalarını çakıştırmamak ve kısa devre durumlarından kaçınmak için hayatidir. $R_{bp1,2,3}$ dirençleri ise ölü zaman durumunda yük biriktiren $C_{bp1,2,3}$ kapasitelerindeki enerjiyi harcamak ve boşaltmak için konulmuştur. İzolasyon trafosu ise yük ile beslemeyi izole etmek ve filtrelemek için kullanılabilir bir alternatiftir [25].



Şekil 2.21 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi a) devre yapısı
b) T_s periyodu için anahtarlama fonksiyonu [25].

Aktif durumda S_1 , S_2 ve S_3 tetiklenmiş durumda ve S_4 kapalı konumdadır. Bundan dolayı giriş gerilimi yük gerilimine eşit olmakta ve $I_{a,b,c}$ akımları anahtarlar ve ters paralel bağlı diyotları üzerinden yüke doğru ilettime geçmektedir.

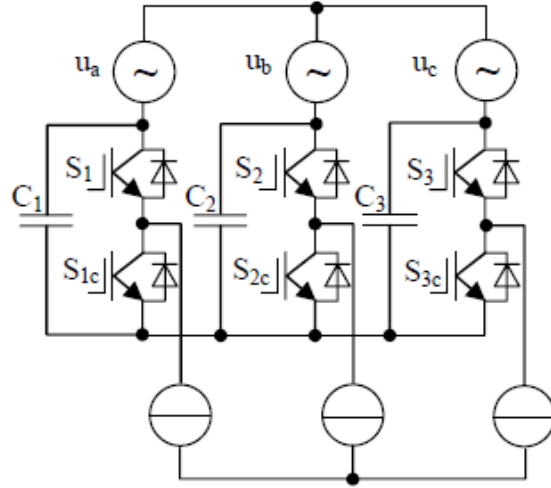
Serbest geçiş durumu aktif durumun tersi olup, sadece S_4 anahtarı aktif durumdadır. Bu duruma yük gerilimi ve $I_{a,b,c}$ akımları sıfır olmakta fakat $I_{a',b',c'}$ yük akımları S_4 ve ona bağlı köptü diyotlar üzerinden serbest geçiş yapmaktadır.

Ölü zaman durumunda S_1 , S_2 , S_3 ve S_4 anahtarlarının hepsi kapalı konumdadır. Endüktif yük akımı anahtarlama diyotları ve $C_{bp1,2,3}$ kapasitesi üzerinden akmaktadır. Bu akış sayesinde kapasiteler üzerinde biriken yük ise $R_{bp1,2,3}$ dirençleri ile sönümlendirilmektedir [25].

2.2.2.2 DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar

DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar, tek fazlı tasarımında olduğu gibi DGM AA kıyıcının ölü zaman durumundaki darbe gerilimlerini önlemek için geleneksel komutasyon ve kontrol yönteminden farklı olarak kontrol edilmekte. DA sönümleyicili tasarımlarda aktif durumu ve serbest geçişi sağlayan anahtarlar giriş

geriliminin değerine göre kontrol edilmektedirler. Bundan dolayı DA sönümleyicili üç fazlı devre tasarımları altı adet anahtar içermekte ve hepsinin kontrol işareti birbirinden farklı olmaktadır. Şekil 2.21’de altı anahtarlı DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi görülmektedir. Devre yapısında altı anahtar ve bu anahtarlara göre farklı anahtarlama işaretleri uygulandığından, Şekil 2.19’daki diyotlu köprülü yapı bu kontrol ve komutasyon yöntemi için uygun değildir.

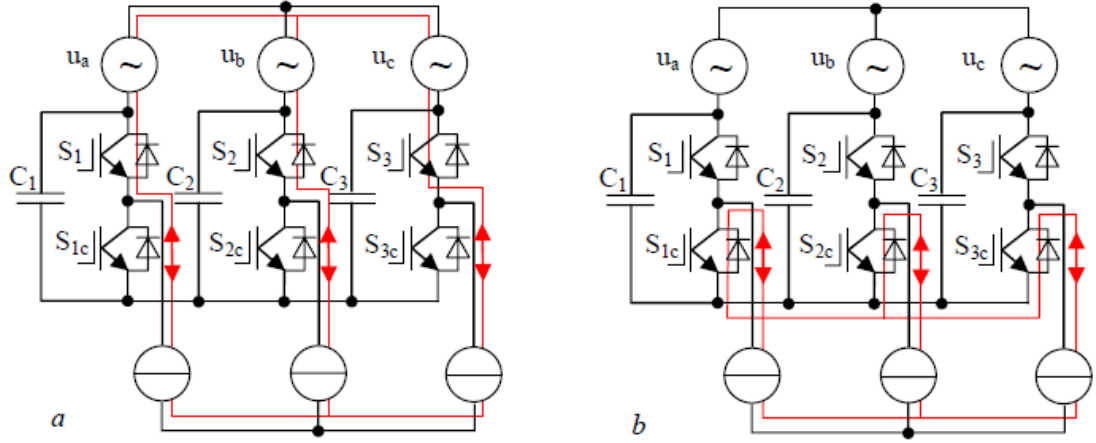


Şekil 2.22 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi [14].

Üç fazlı DGM AA kıyıcı devresinde S_1 , S_2 ve S_3 anahtarları aktif durumda iken besleme girişinden yüke doğru güç akışı olmakta yani kıyıcı aktif durumda çalışmaktadır. S_1 , S_2 ve S_3 anahtarlarının tersi olarak çalışan S_{1c} , S_{2c} ve S_{3c} anahtarları ise serbest geçiş durumunda aktif duruma geçmektedirler. Şekil 2.22’de verilen devre çiziminin aktif ve serbest geçiş durumlarını Şekil 2.23’te açıklanmaktadır.

Tek fazlı DGM kıyıcılarda giriş geriliminin yönüne göre anahtarlama fonksiyonu oluşturulurken, üç fazlı sistemlerde daha farklı bir yöntem kullanılmaktadır. Tek fazlı sistemlerde ölü zaman durumunda endüktif yük akımına yol sağlayabilmek için ileri yönde güç akışı yapmayan iki anahtar sürekli olarak aktif konumda tutulmakta idi. Üç fazlı sistemlerde de aynı ilke ile ileri yönde güç akışı yapmayan faz üzerindeki iki anahtar sürekli aktif konumda tutulmaktadır. İleri yönde güç akışı yapmayan fazın belirlenmesi ise anlık olarak farklı fazlardaki gerilim değerinin okunarak ve nötr noktasına göre en düşük anlık gerilim değerine sahip olan fazın tesbit edilmesi ile olmaktadır. O anda en düşük gerilim değerine sahip olan faz üzerindeki hem aktif hem de serbest geçiş anahtarı aktif duruma geçirilerek, ölü zaman durumundaki gerilim darbeleri önlenmekte ve endüktif yük için alternatif yol sürekli temin edilmektedir.

Diğer fazlar üzerindeki anahtarlar ise dalga genişlik modülasyonuna göre anahtarlanmaya devam etmektedir [15]. Şekil 2.24'te DA sönümleyici üç fazlı DGM AA kıyıcı için önerilen komutasyon için kullanılan kontrol işaretleri gösterilmiştir.

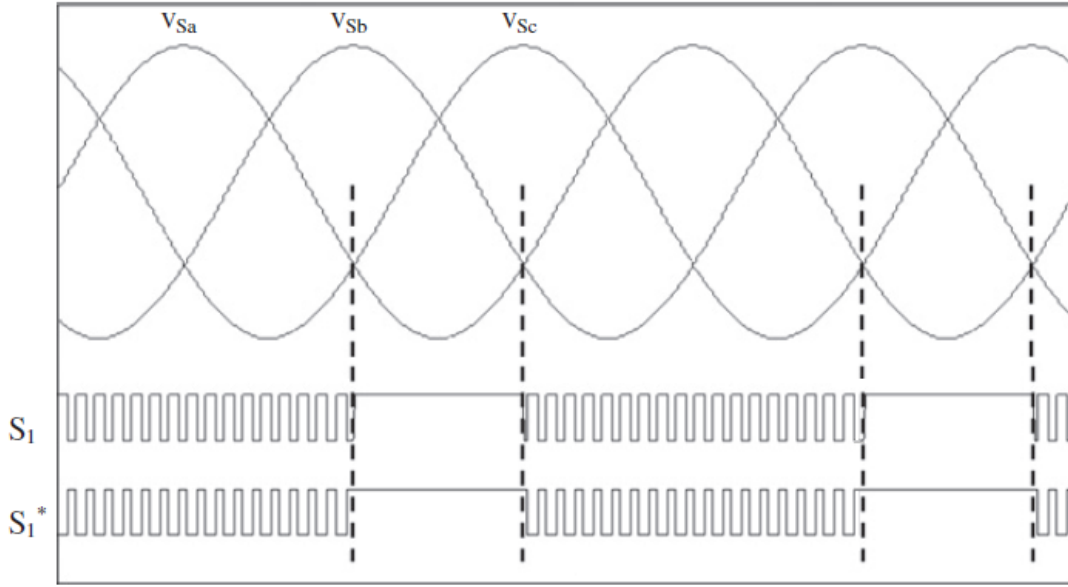


Şekil 2.23 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı durumları a) aktif durum b) serbest geçiş durumu [14].

Ölü zaman durumlarındaki gerilim darbelerinin etkilenmemek, güç kayıplarını azaltmak ve anahtarlama elemanlarının güvenliğini sağlamak için üç fazlı sistemlerde Şekil 2.24'te gösterilen komutasyon yöntemi kullanılmaktadır. En düşük anlık gerilim değerine sahip faz üzerindeki anahtarların o bölge boyunca sürekli aktif tutulması ile endüktif yük akımına sürekli bir yol sağlanmış olmaktadır. Şekil 2.24'te V_{sa} yani birinci fazının en düşük gerilime sahip olduğu bölgede, birinci faz üzerindeki S_1 ve S_{1c} anahtarı aktif tutulduğu görülmektedir. Her üç faz için de bu yöntem uygulanmakta ve üç faz arasında en düşük gerilime sahip gerilim sürekli takip edilmektedir. En düşük faz haricinde diğer fazlardaki anahtarlama geleneksel anahtarlama yöntemi ile aynıdır. Aktif anahtarlar ile serbest geçiş anahtarları ters bir şekilde çalıştırılmaktadır.

Ölü zaman durumlarındaki gerilim darbelerinin etkilenmemek, güç kayıplarını azaltmak ve anahtarlama elemanlarının güvenliğini sağlamak için üç fazlı sistemlerde Şekil 2.24'te gösterilen komutasyon yöntemi kullanılmaktadır. En düşük anlık gerilim değerine sahip faz üzerindeki anahtarların o bölge boyunca sürekli aktif tutulması ile endüktif yük akımına sürekli bir yol sağlanmış olmaktadır. Şekil 2.24'te V_{sa} yani birinci fazının en düşük gerilime sahip olduğu bölgede, birinci faz üzerindeki S_1 ve S_{1c} anahtarı aktif tutulduğu görülmektedir. Her üç faz için de bu yöntem uygulanmakta ve üç faz arasında en düşük gerilime sahip gerilim sürekli takip edilmektedir. En düşük

faz haricinde diğer fazlardaki anahtarlama geleneksel anahtarlama yöntemi ile aynıdır. Aktif anahtarlar ile serbest geçiş anahtarları ters bir şekilde çalıştırılmaktadır.

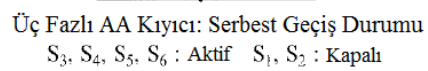
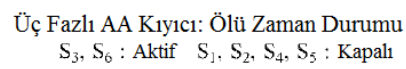
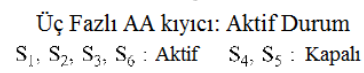


Şekil 2.24 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı kontrol işaretleri [27].

Şekil 2.18’de gösterilmiş olan üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi üzerinden detaylı bir şekilde yeni komutasyon yöntemi ile birlikte çalışma durumları ve akım akış yolları Şekil 2.25’te gösterilmektedir. Burada anahtarlama fonksiyonu ve akım akış yolları çizilirken C fazının gerilim değerinin en düşük olduğu bölge ele alınmıştır.

Aktif durumda S_1 , S_2 , S_3 ve S_6 anahtarları aktif konumda ve üç fazlı besleme yük üzerindedir. Şekil 2.25’te gösterilen ilk devre şemasında yük akımı ve aldığı yönler görülmektedir. Dikkat edilirse C fazının en düşük gerilim değerine sahip faz olduğu için S_3 ve S_6 anahtarları aktif konumdadır. Ayrıca S_3 anahtarının üzerinden akan akım ters yöndedir.

Ölü zaman durumunda sadece en düşük gerilime sahip fazın anahtarları yani S_3 ve S_6 anahtarları aktif durumdadır. Bu anahtarlar C fazı en düşük olduğu sürece aktif olduğundan ötürü, aktif durum ve serbest geçiş durumu arasında geçişler olduğu durumda dahi aktif konumda kalmaktadırlar. Şekil 2.25’e ikinci grafiğe dikkat edilirse, ölü zaman durumunda endüktif yük akımının S_3 ve S_6 anahtarı üzerinden nasıl yolunu tamamladığı görülecektir. Böylece güvenli komutasyon sağlanmakta ve yüksek genlikli gerilim darbeleri oluşmamaktadır. Böylece DA sönümlü ve özel kontrol yöntemi ile üç fazlı AA kıyıcıların nasıl çalıştığı daha net görülmektedir.



41

Serbest geçiş durumunda S4, S5, S6 ve S3 anahtarları aktif durumdadır. Şekil 2.25'te üçüncü devre Şeması üzerinde yük akımının serbest geçiş yaptığı görölmektedir. Böylelikle yük gerilimi sıfır olmaktadır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken S3 anahtarının aktif olmasının bir soruna sebep olmaması ve kısa devreye sebep olmamasıdır. Bu ise C fazının geriliminin anlık olarak en düşük olmasından dolayı bir problem oluşmamaktadır.

2.3 Matematiksel Model

DGM AA kıyıcıların matematiksel model ve analizlerinin incelenmesi çalışma ilkesinin daha iyi kavranması için önemlidir. DGM AA kıyıcılar yüksek anahtarlama çalışmaya sahip olduklarından dolayı çıkış yük devreleri ve Şebeke giriş akımları açısından yüksek harmonik bişenler içerirler [26].

DGM AA kıyıcıların matematiksel modellemesi yapılırken, işaretlerin Fourier analizi ile gösterimi ve Laplace dönüşüm fonksiyonları kullanılmıştır. Giriş besleme gerilimi Denklem 2.5'te gösterilmiştir. Denklemden verilen ω açısal frekans ve V_{sm} giriş geriliminin genlik değerini göstermektedir [15].

$$v_s(t) = V_{sm} \cos \omega t \quad (2.5)$$

Çıkış geriliminin gösterilişı giriş geriliminin anahtarlama fonksiyonu ile çarpılması ile elde edilmektedir. Denklem 2.6'te giriş gerilimi ve çıkış gerilimi arasındaki bağlantı gösterilmiştir. Denklemden $v_r(t)$ AA kıyıcının çıkış gerilimi ve S anahtarlama fonksiyonudur.

$$v_r(t) = S(\omega_s t) v_s(t) \quad (2.6)$$

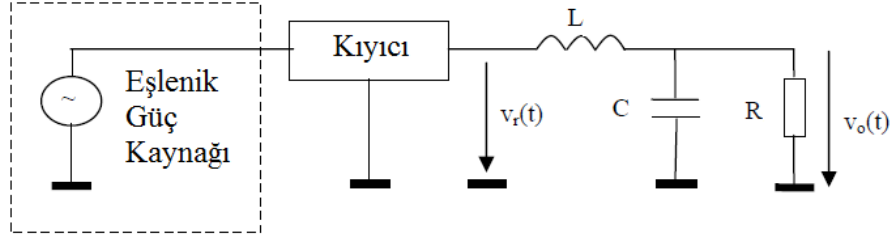
Anahtarlama fonksiyonu DGM prensibine göre D doluluk oranına sahip bir kare dalgadan oluşmaktadır. Anahtarlama fonksiyonunun Fourier analizi ile ifade edilişı Denklem 2.7'da gösterilmiştir. Denklemden D doluluk oranı, k harmonik mertebesinin numarasıdır [15].

$$S(\omega_s t) = D + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin(kD\pi)}{k\pi} \cos(k\omega_s t) \quad (2.7)$$

Denklem 2.5, 2.6 ve 2.7'yi birleştirerek, çıkış geriliminin matematiksel ifadesini elde edilebilir. Denklem 2.8'de bu denklem gösterilmiştir.

$$v_r(t) = DV_{sm} \cos(\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{V_{sm} \sin kD\pi}{k\pi} \cos(k\omega_s \pm \omega)t \quad (2.8)$$

DGM AA kıyıcının çıkış devresini oluşturan RLC filtresini ve çıkış geriliminin matematiksel ifadelerini elde etmek için Laplace dönüşümleri kullanılmıştır. AA kıyıcı çıkış devresi modeli Şekil 2.26’da gösterilmiştir [15].

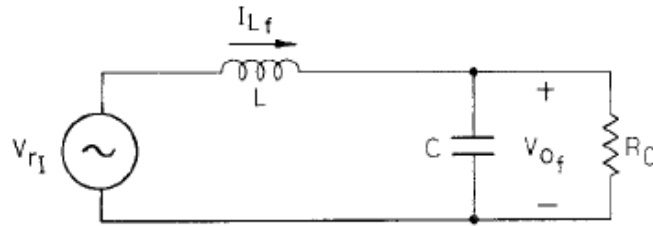


Şekil 2.26 : AA kıyıcı çıkış devresi modeli [26].

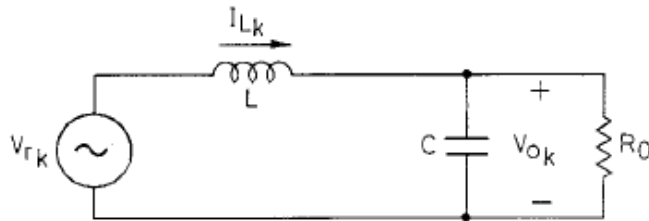
AA kıyıcının çıkışı olan $v_r(t)$ ’nin çıkış filtresinden sonraki gerilim değeri olan $v_o(t)$ ’nin değeri Denklem 2.9’de gösterilmiştir.

$$\frac{v_o(s)}{v_r(s)} = \frac{R}{sL + (1 + s^2 LC)R} \quad (2.9)$$

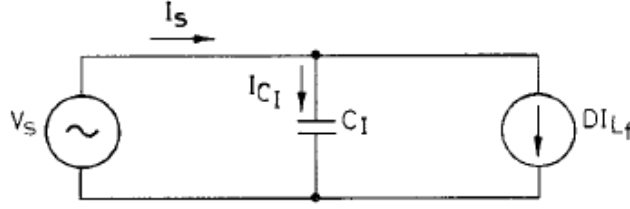
Çıkış geriliminin temel bileşeni v_{of} ve harmonik bileşeni v_{ok} Denklem 2.6’da gösterilen çıkış gerilim değerinden türetilebilir. Verilen transfer fonksiyonunda “ $s=j\omega$ ” yazılarak Denklem 2.10 elde edilir.



Şekil 2.27 : AA kıyıcının temel bileşeninin eşdeğer devresi [15].



Şekil 2.28 : AA kıyıcının harmonik bileşenlerinin eşdeğer devresi [15].



Şekil 2.29 : AA kıyıcının giriş tarafının eşdeğer devresi [15].

Şekil 2.27, 2.28 ve 2.29’da AA kıyıcının çıkış filtresinin eşdeğer devreleri gösterilmiştir. V_{of} çıkış geriliminin temel bileşen değerini ve V_{ok} çıkış geriliminin harmonik bileşenlerini ifade etmektedir. I_{Lf} ve I_{Lk} ise filtre endüktasının temel ve harmonikli akım bileşenlerini göstermektedir. Çıkış devresinin eşdeğer devreleri Şekil 2.27 üzerinden V_{of} elde edilebilmektedir[15].

$$V_{of} = \frac{-jX_C R_o}{X_C X_L - j(X_C - X_L)R_o} V_{rf} \quad (2.10)$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (2.11)$$

$$X_L = \omega L \quad (2.12)$$

$$V_{rf} = D V_{sm} \quad (2.13)$$

Denklem 2.10’da gösterilen değişkenlerin değerleri Denklem 2.11, 2.12 ve 2.13’de gösterilmiştir. V_{of} değerini $X_C \gg R_o \gg X_L$ varsayımı yapılarak denklem 2.14 elde edilir.

$$V_{of} = \frac{X_C R_o V_{rf}}{\sqrt{(X_C X_L)^2 + [(X_C - X_L)R_o]^2}} \approx V_{rf} \quad (2.14)$$

Şekil 2.28’de gösterilen eşdeğer devre ile V_{ok} geriliminin değeri hesaplanabilmektedir.

$$V_{ok} = \frac{-jX_{k\omega_s C} \pm R_o}{X_{k\omega_s C} X_{k\omega_s L} - j(X_{k\omega_s C} - X_{k\omega_s L})R_o} V_{rk} \quad (2.15)$$

Denklem 2.16, 2.17 ve 2.18’de verilen denklemler V_{ok} geriliminin formülasyonunda kullanılan değişkenlerin değerlerini göstermektedir.

$$X_{k\omega_s C} = \frac{1}{(k\omega_s \pm \omega)C} \quad (2.16)$$

$$X_{k\omega_s L \pm} = (k\omega_s \pm \omega)L \quad (2.17)$$

$$V_{rk} = \frac{V_{sm} \sin(kD\pi)}{k\pi} \quad (2.18)$$

Açısal anahtarlama frekansı ω_s , giriş geriliminin açısal anahtarlama frekansı ω 'den çok büyük olduğundan dolayı Denklem 2.19, 2.20 ve 2.21'de verilen varsayımlar yapılabilir.

$$k\omega_s \pm \omega \simeq k\omega_s \quad (2.19)$$

$$X_{k\omega_s C \pm} \simeq X_{k\omega_s C} = \frac{1}{k\omega_s C} \quad (2.20)$$

$$X_{k\omega_s L \pm} \simeq X_{k\omega_s L} = k\omega_s L \quad (2.21)$$

$X_{k\omega_s C} \ll R_o \ll X_{k\omega_s L}$ varsayımı yapılarak V_{ok} geriliminin sadeleştirilmesi mümkün olmaktadır. Denklem 2.22'de V_{ok} geriliminin değeri gösterilmektedir.

$$V_{ok} \simeq \frac{X_{k\omega_s C} R_o V_{rk}}{\sqrt{(X_{k\omega_s L} X_{k\omega_s C})^2 + [(X_{k\omega_s C} - X_{k\omega_s L}) R_o]^2}} \simeq \frac{X_{k\omega_s C}}{X_{k\omega_s L}} V_{rk} \quad (2.22)$$

Alternatif akım kıyıcının çıkış geriliminin total harmonik bozunumu Denklem 2.23'de gösterilmiştir.

$$THD_V = \frac{100}{V_{of}} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} V_{ok}^2} \quad (2.23)$$

Denklem 2.23'de gösterilen harmonik bozunumu ifadesi, V_{of} ve V_{ok} gerilimlerinin Denklem 2.15 ve 2.23'te gösterilen değeri ile birleştirilmesi ile Denklem 2.24 elde edilmektedir. AA kıyıcının çıkış gerilimi toplam harmonik bozunumu 2.24 ve 2.25'da ifade edilmiştir [15].

$$THD_V \simeq \frac{100\sqrt{2}}{DLC} TH_1 \quad (2.24)$$

$$TH_1 = \frac{1}{\pi\omega_s^2} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2 kD\pi}{k^6}} \quad (2.25)$$

Çıkış geriliminin harmonik bozunumu THD_v 'nin elde edilmesi ile birlikte önemli bilgilere ulaşılmaktadır. Denklem 2.16 ve 2.17'da gösterilen bozunumun parametreleri

incelenirse D doluluk oranı, LC çıkış filtre elemanlarının parametreleri ve ω_s anahtarlama frekansına bağlı olduğu görülmektedir. Bu parametrelerin harmonik bozunumu azaltılması yönünde ciddi etkileri olduğu denklemlerden görülmektedir [15].

Şekil 2.28 de gösterilen AA kıyıcı devresindeki endüktif akımın, temel bileşeni Denklem 2.26'de gösterilmektedir.

$$I_{Lf} = \frac{(R_o - jX_C)V_{rf}}{X_C X_L + jR_o(X_L - X_C)} \quad (2.26)$$

$X_C \gg R_o \gg X_L$ varsayımı yapılarak Denklem 2.26'te sadeleştirme yapılabilir.

$$I_{Lf} = \frac{V_{rf} \sqrt{R_o^2 + X_C^2}}{\sqrt{(X_C X_L)^2 + R_o^2(X_L - X_C)^2}} \simeq \frac{V_{rf}}{R_o} \quad (2.27)$$

Denklem 2.19, 2.20 ve 2.21'i kullanılarak endüktif akımın harmonik bileşenli ifadesi elde edilir. Denklem 2.27'da I_{Lk} gösterilmiştir.

$$I_{Lk\pm} \simeq \frac{(R_o - jX_{k\omega_s C})V_{rk}}{X_{k\omega_s C} X_{k\omega_s L} + j(X_{k\omega_s L} - X_{k\omega_s C})R_o} \quad (2.28)$$

$X_{k\omega_s C} \ll R_o \ll X_{k\omega_s L}$ varsayımı yapılarak, akımın harmonik bileşeni sadeleştirilir. Denklem 2.29'de I_{Lk} ifadesi gösterilmiştir.

$$I_{Lk} = \frac{V_{rk} \sqrt{R_o^2 + X_{k\omega_s C}^2}}{\sqrt{(X_{k\omega_s C} X_{k\omega_s L})^2 + R_o^2(X_{k\omega_s L} - X_{k\omega_s C})^2}} \simeq \frac{V_{rk}}{X_{k\omega_s L}} \quad (2.29)$$

Denklem 2.30 ve 2.33 de gösterilen endüktif akım hesaplamaları ile AA kıyıcının çıkış akımındaki toplam harmonik bozunumu hesaplanabilir. Denklem 2.30 ve 2.31'te THD_I gösterilmektedir.

$$THD_I \simeq \frac{100\sqrt{2}R_o}{DL} TH_2 \quad (2.30)$$

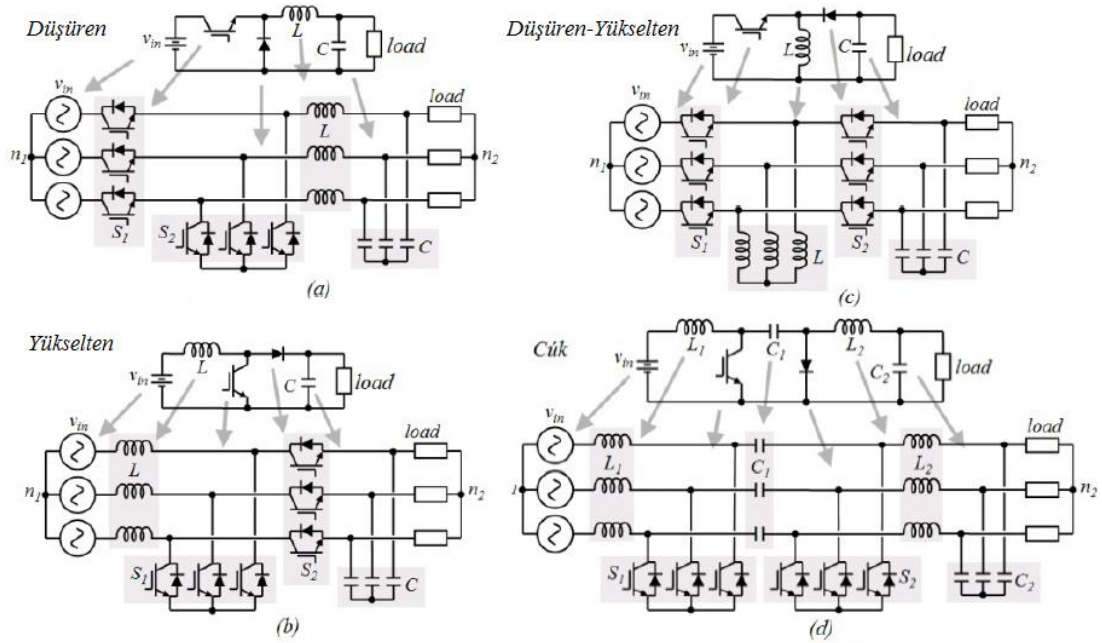
$$TH_2 = \frac{1}{\pi\omega_s} \sqrt{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin^2(kD\pi)}{k^4}} \quad (2.31)$$

Çıkış akımının harmonik bozunum ifadesi incelendiğinde, L endüktans, D doluluk oranı ve ω_s anahtarlama frekansına bağlı olduğu ve C kapasitesine bağlı olmadığı görülmektedir [15].

2.4 Devre Yapıları

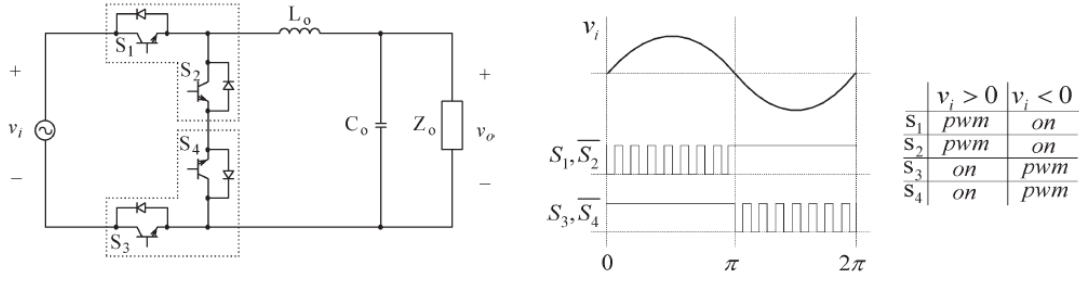
DGM AA kıyıcı güç dönüştürücü ailesi geleneksel olarak yaygın olarak kullanılan DA-DA dönüştürücü devre yapılarından evrilerek elde edilmişlerdir [36]. DGM AA kıyıcılar çıkış gerilimlerinin frekansı sabit olarak etkin değerini DGM doluluk oranına göre aynı DA-DA dönüştürücülerdeki uygulanan yöntem ile değiştirebilmektedir [8].

DGM AA kıyıcılar açıklanırken giriş gerilimi kıyılarak çıkış geriliminin etkin değerinin ayarlandığı açıklanmıştır. Tez içerisinde açıklanan DGM AA kıyıcılar, DA-DA alçaltan dönüştürücüler gibi giriş geriliminin parçalanarak etkin değerinin azaltılabildiği dönüştürücülerdir. DGM AA kıyıcı devresinin temel kullanımı bu şekildedir. Fakat bu başlık içerisinde DA-DA dönüştürücü ailesinin farklı devre yapılarının DGM AA kıyıcı devresi ile birleştirilerek farklı devrelerin elde edilebileceği gösterilmiştir. Yükselten, alçaltan, alçaltan-yükselten ve cük dönüştürücülerin üç fazlı DGM AA kıyıcı tasarımları Şekil 2.30’da gösterilmektedir.

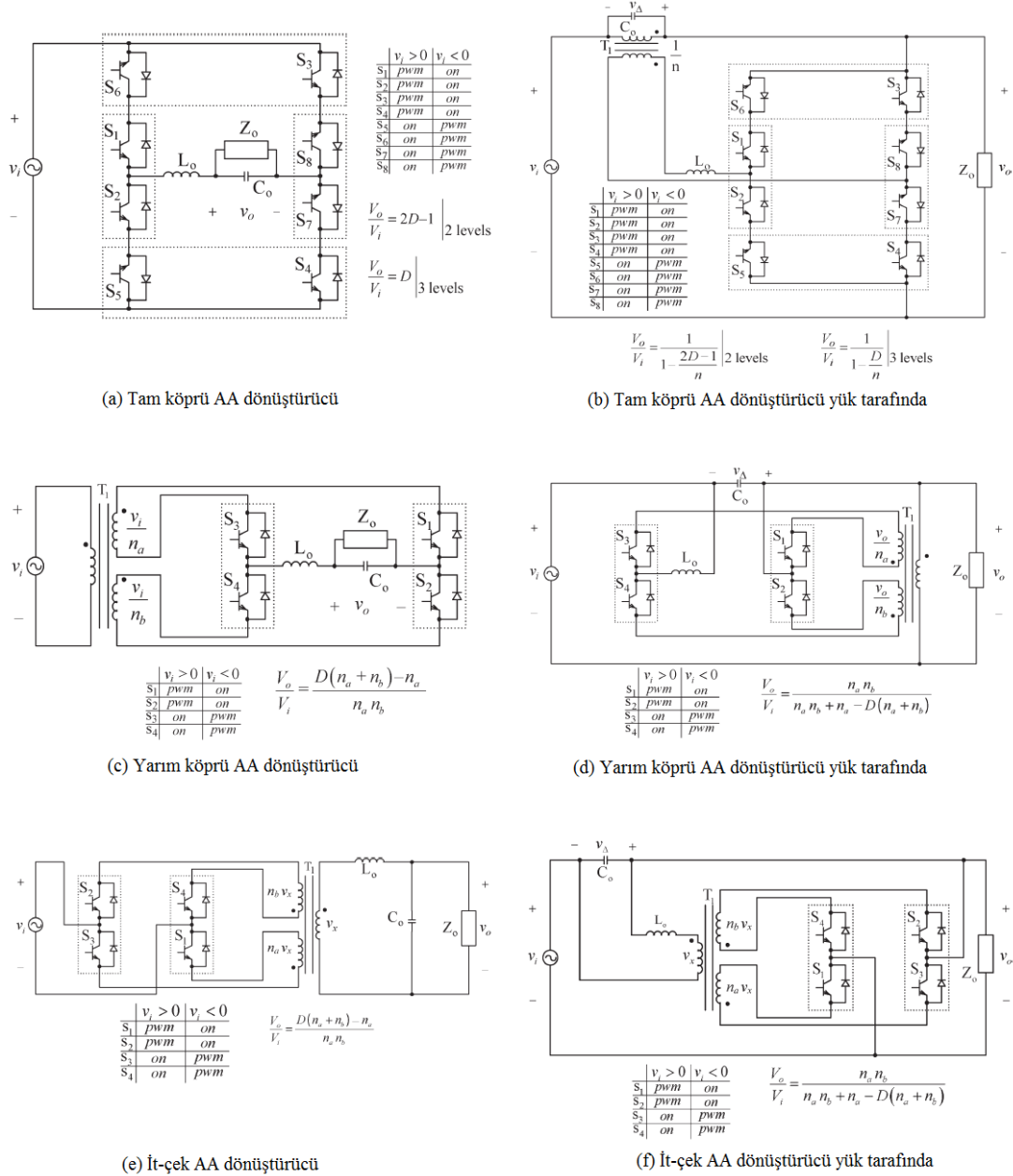


Şekil 2.30 : DGM AA kıyıcı devre yapıları a) düşüren b) yükselten c) düşüren-yükselten d) cük [8].

Şekil 2.30’da gösterilen DA-DA dönüştürücüler ve onların DGM AA kıyıcıya dönüştürülerek farklı devreler elde edilmiştir. DGM AA kıyıcı devre yapılarını DA-DA dönüştürücülerden esinlenerek çokça çeşitlendirilebilmektedir. Bu çalışmadaki DGM AA kıyıcının en temel dönüştürücü tipi olan alçaltan tipte dönüştürücüdür. Şekil 2.31’de tek fazlı geleneksel alçaltan DGM AA kıyıcı görülmektedir.



Şekil 2.31 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı [37].



Şekil 2.32 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı farklı devre yapıları a) tam köprü b) tam köprü yük tarafında c) yarım köprü d) yarım köprü yük tarafında e) it-çek f) it-çek yük tarafında [37].

Tek fazlı DGM AA kıyıcı devre yapılarını çeşitlendirmek, farklı tasarımların nasıl oluşturulduğunu göstermek, kısaca kontrol ve çıkış gerilim değerlerinin nasıl hesaplandığını ifade etmek için Şekil 2.32 verilmiştir. Bu çalışma kapsamında DGM AA kıyıcıların literatürde en temel yapısı olan alçaltan dönüştürücü detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Gösterilen farklı yapılar ve doluluk oranı ile çıkış geriliminin etkin değeri ayarlanmakta ve hatta bazı dönüştürücülerde giriş geriliminin üzerine çıkabilmektedir. Bu başlık ile DGM AA kıyıcı devresi ve çalışma prensibi ile birçok farklı tasarım ve uygulamanın elde edilebileceği gösterilmiştir.

2.5 Kontrol Stratejileri

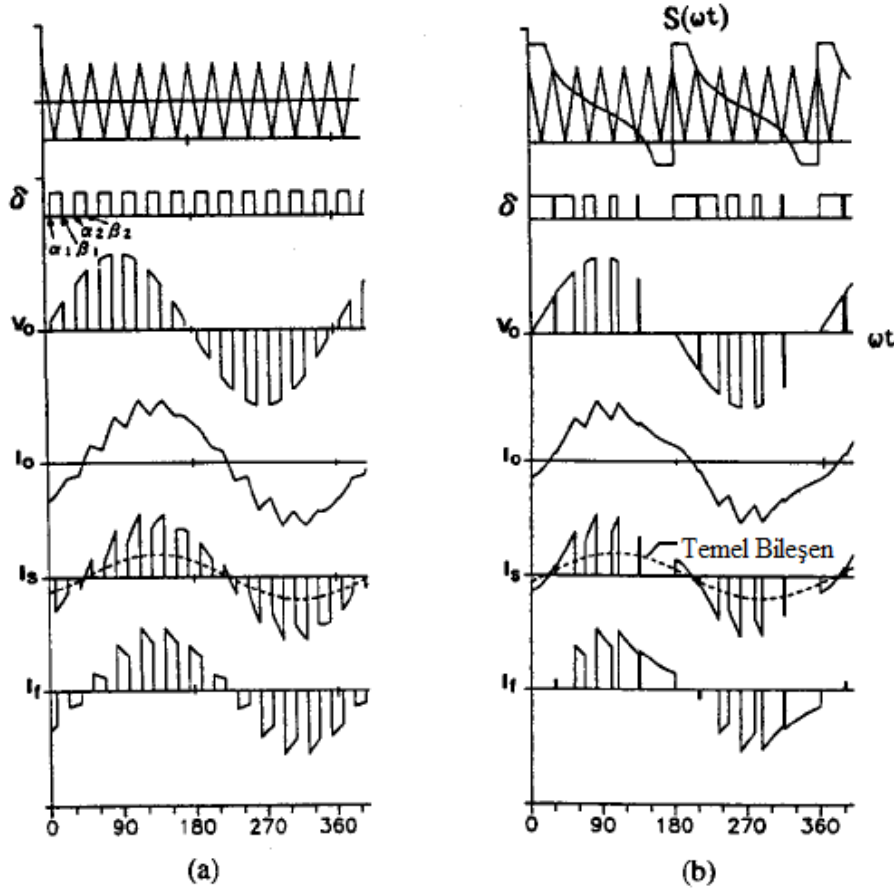
Çalışma prensipleri içerisindeki anahtarlama fonksiyonları ve anahtarlama işaretlerine ait DGM şekillerde de gösterilmektedir. Şekillerde görülen anahtarlama işaretlerinde genellikle sabit bir doluluk oranına sahip olduğu görülmektedir. Doluluk oranı istenilen çıkış gerilimine göre belirlenmekte ve giriş geriliminin bir periyodu içerisinde çok değişmemektedir.

Kontrol stratejileri başlığı içerisinde geleneksel DGM AA kıyıcı devrelerinin farklı anahtarlama ve kontrol stratejileri ile çalıştırılabilecekleri, avantajları ve uygulamaları açıklanacaktır. Kontrol stratejileri temel DGM AA kıyıcı çalışma prensiplerine bağlı olarak geliştirilmektedir. DGM AA kıyıcının farklı özellikleri ve çalışma şekillerini ortaya çıkarmak için farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Li Min ve Ji Yanchao tarafından yayınlanan “An Advanced Harmonic Elimination PWM Technique for AC Choppers” isimli çalışmada, DGM AA kıyıcılar için özel bir kontrol stratejisi önerilmektedir. Giriş gerilimi harmonikli bir kaynaktan verilen DGM AA kıyıcının, kontrol yöntemini değiştirerek çıkış geriliminde bu harmonikleri süzmenin mümkün olduğu anlatılmaktadır. Kontrol stratejisi giriş geriliminin anlık değerinin sürekli ölçülmesi, harmoniksiz temel bileşenden çıkarılması ve aradaki farkın dengelenmesi için gerekli olan doluluk oranını sürekli olarak hesaplayarak anahtarlama işaretlerinin belirlenmesini içermektedir [9]. Böylelikle giriş geriliminde ne kadar çok harmonik bileşen varsa da, çıkış gerilimini harmoniksiz şekilde elde edilebilmektedir.

DGM AA kıyıcılar için uygulanan bir başka kontrol stratejisi ise asimetrik DGM ile anahtarlama yapılmasıdır. Asimetrik DGM işareti ile AA kıyıcı devresinin kontrol

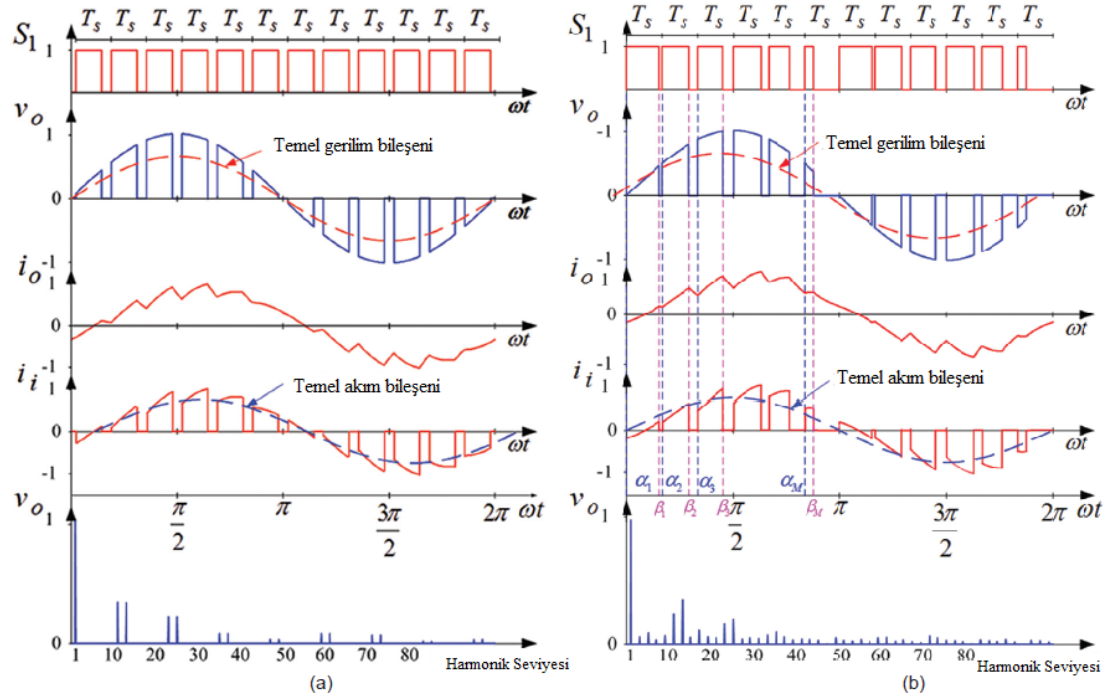
edilmesi ile güç faktörünün bire yaklaştırılması amaçlanmaktadır. Şekil 2.33’de geleneksel DGM kontrolü ve asimetrik DGM işareti için dalga şekilleri gösterilmiştir. İlk grafikte anahtarlama işaretinin nasıl elde edildiği ve ikinci grafiklerde ise anahtarlama işareti görülmektedir. Sırasıyla çıkış gerilimi, çıkış akımı, giriş akımı ve serbest geçiş akımı grafikleri gösterilmektedir. Asimetrik DGM işaretli kontrollü devrenin grafikleri incelendiğinde, çıkış gerilimi ve çıkış akımı arasında faz farkı standart DGM kontrollüye kıyasla çok azdır. Böylelikle güç faktörü düzeltilebilmektedir.



Şekil 2.33 : DGM AA kıyıcı dalga şekilleri a) DGM kontrollü b) asimetrik DGM kontrollü [13].

2015’te Tayland Maha Sarakham Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinde yapılan “Power Factor Improvement and Voltage Harmonics Reduction in Pulse Width Modulation AC Chopper Using Bee Colony Optimization” adlı çalışmada DGM AA kıyıcı kontrol stratejisinin arı kolonisi en iyileme yöntemi ile giriş harmoniklerinin ve güç faktörünün düzeltilmesi önerilmiştir [35]. Şekil 2.34’te geleneksel DGM kontrol ve önerilen yöntem ile üretilen anahtarlama fonksiyonlarının dalga şekilleri gösterilmiştir. Gösterilen dalga şekillerinde geleneksel sabit DGM işareti ve özel

geliştirilmiş kontrollün DGM AA kıyıcı devresi üzerindeki etkileri görülmektedir. Giriş akımı temel bileşeni ve giriş gerilimi arasındaki faz farkları, önerilen yöntem ile güç faktörü düzeltmesinde başarılı olduğu görülmektedir. Ayrıca çıkış gerilimi ve harmonik bileşenleri incelendiğinde harmonik etkiler iyileştirilmiştir [35].



Şekil 2.34 : DGM AA kıyıcı dalga şekilleri a) standart DGM kontrollü b) arı kolonisi ile değişken DGM kontrollü [35].

DGM AA kıyıcıların birçok farklı kontrol stratejisi bulunmaktadır. Herbir kontrolün farklı bir amacı ve çıktısı vardır. Farklı kontrol stratejilerinden bahsedilerek, DGM AA kıyıcıların teknik özellikleri ve çalışma şekillerine ışık tutulmuştur. Bu çalışmada geleneksel DGM anahtarlama kullanılmıştır.

3. BENZETİM ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

DGM AA kıyıcılar çalışma prensipleri ve teknik bilgileri verildikten sonra, tasarım aşamasına geçmeden önce benzetim çalışmalarının yapılması ve incelenmesi tasarım aşamalarını kolaylaştırmaktadır. Benzetim yöntemleri ile tasarımlar için kritik noktaların belirlenmesi, akım ve gerilim darbe şekillerinin incelenmesi, gerilim darbelerinin gözlemlenmesi ve kontrol işaretlerinin elde edilmesi gözlemlenmiştir. Gözlemlerden elde edilen ve açıklanan teknik bilgiler ile birlikte DGM AA kıyıcı tasarımı geliştirilmiştir.

Bu bölümde tek fazlı ve üç fazlı DGM AA kıyıcıların farklı komütasyon ve kontrol yöntemleri ile benzetimi yapılmıştır. Temel iki farklı kontrol ve komutasyon yöntemini içeren devre yapıları da benzetim yöntemi içerisinde ele alınmıştır. Benzetim çalışmaları Matlab/SIMULINK ortamında gerçekleştirilmiştir. Aşağıda benzetimi yapılacak devre yapılarının listesi verilmiştir.

1. AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcılar
2. DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcılar
3. AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar
4. DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar.

Benzetim çalışmalarında oluşturulan devre şemaları DGM AA kıyıcıların teknik bilgileri ve çalışma prensiplerinde gösterilen şemalara uygun olarak oluşturulmuştur. Benzetimlerde farklı devre yapıları için; farklı kontrol yöntemlerinin, farklı anahtarlama frekanslarının, farklı anahtar doluluk oranlarının ve farklı yük tiplerinin devrenin çalışma başarımına etkisi incelenmiştir.

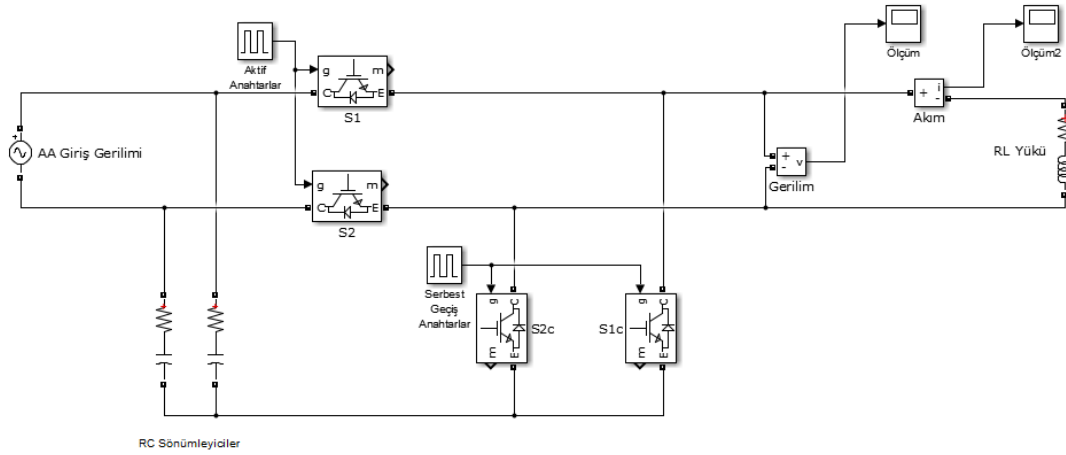
3.1 Tek Fazlı DGM AA Kıyıcı Benzetimleri

Tek fazlı DGM AA kıyıcıların benzetim çalışmaları iki ana başlık ve devre yapısı için gerçekleştirilmiştir. DGM AA kıyıcıların daha geleneksel yöntemi olan AA

sönümleyici kıyıcılar ve özel komutasyon yöntemine sahip DA sönümleyici kıyıcılar benzetim yöntemleri ile incelenmiştir.

3.1.1 AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları

Bu kısımda tek fazlı DGM AA kıyıcılar içerisinde kontrol yöntemi geleneksel DGM olan AA sönümleyici tek fazlı DGM AA kıyıcıların benzetimi yapılmıştır. Şekil 3.1’de AA sönümleyici tek fazlı DGM AA kıyıcının benzetimi gösterilmiştir.

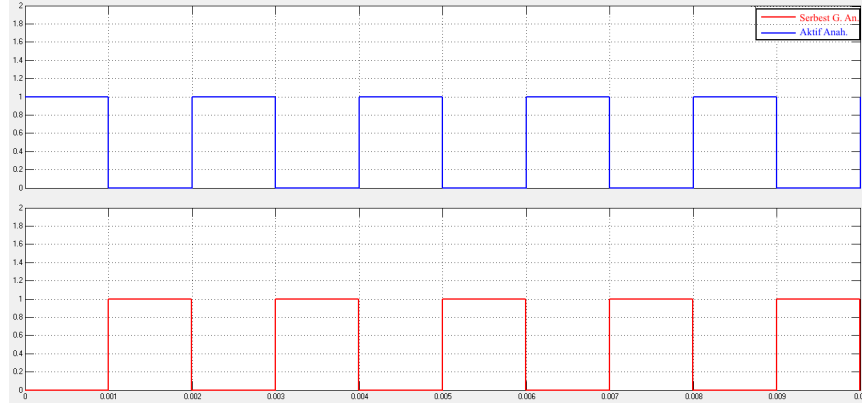


Şekil 3.1 : AA sönümleyici tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi.

Benzetimi yapılan devrede, AA giriş gerilimi, aktif anahtarlar (S_1 ve S_2), serbest geçiş anahtarları (S_{1c} ve S_{2c}), AA sönümleyici (RC sönümleyiciler), anahtarlama fonksiyonu blokları, çıkış yükü (RL yükü), gerilim ve akım ölçüm problemleri görülmektedir. Bu elemanlar ile birlikte AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı oluşturulmuştur.

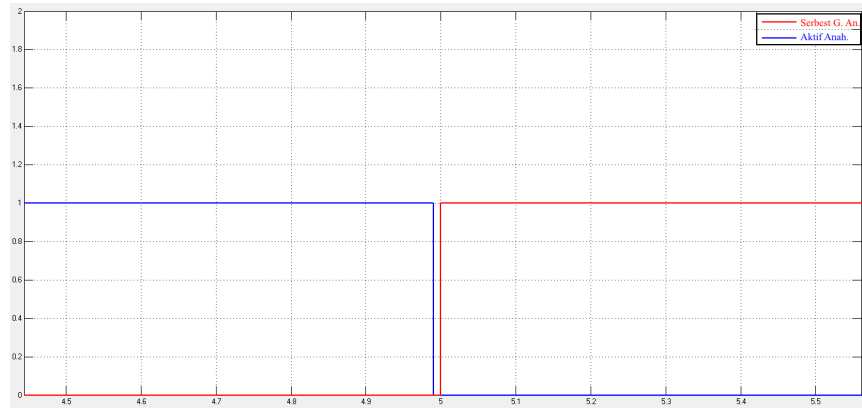
AA sönümleyici DGM AA kıyıcıların kontrol yöntemi geleneksel DGM anahtarlama işaretinden oluşmaktadır. Aktif anahtarlar S_1 ve S_2 aynı anda tetiklenerek kıyıcı aktif çalışma durumunda çalıştırılmaktadır. Aktif anahtarların tersi işaret olarak S_{1c} ve S_{2c} anahtarlar serbest geçiş durumunda tetiklenmektedir. Ters aktif anahtarların serbest geçiş anahtarlarına göre doluluk oranı miktarınca çıkış geriliminin etkin değeri değiştirilmektedir.

Benzetim çalışmasında anahtarlama işaretleri elde edilerek, istenilen DGM işaretlerin gösterimi Şekil 3.2’de yapılmıştır. Aktif anahtarlar ve serbest geçiş anahtarların işaretlerinin birlikte gösterildiği Şekil 3.2’de anahtarlama frekansı (f_s) 500 Hz, aktif anahtarların doluluk oranı (D) ise %50’dir. Aktif anahtarların işareti mavi ile ve serbest geçiş anahtarlar ise kırmızı ile gösterilmektedir. Birbirleri ile ters olarak çalışan anahtarlar geleneksel DGM işaretine sahiptirler.



Şekil 3.2 : Benzetimde kullanılan anahtarlama fonksiyonu.

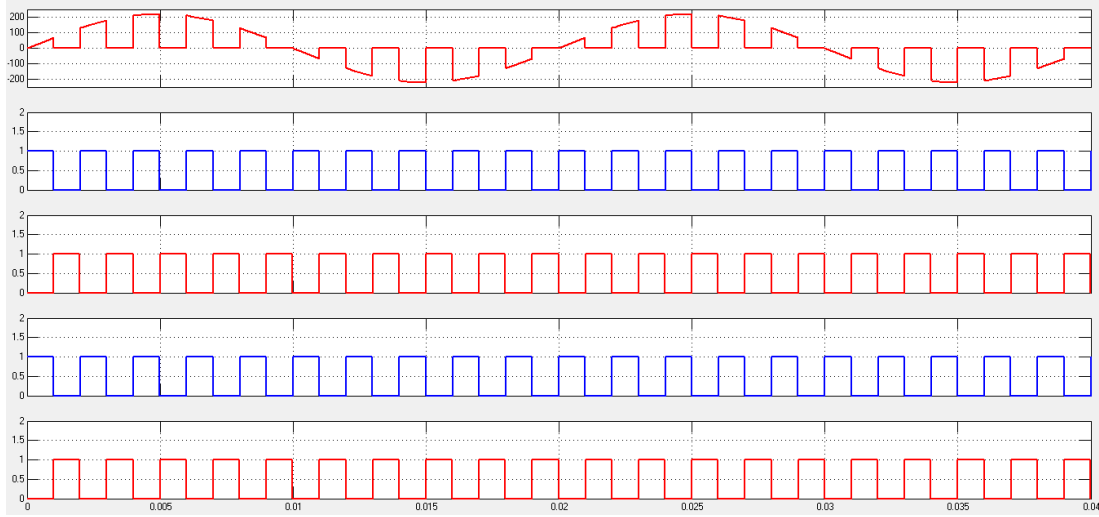
Aktif durum ve serbest geçiş durumları arasındaki ölü zaman durumunu gözlemlemek için ise anahtarlama fonksiyonunu yakından incelemek gerekmektedir. Şekil 3.3'te anahtarlama fonksiyonunun yakın görüntüsü ve ölü zaman durumu görülmektedir. Ölü zaman durumunda aktif ve serbest geçiş anahtarları kapalı durumdadır ve sinyalleri sıfır değerindedir. Ölü zaman durumu 1 μ s olarak ayarlanmıştır.



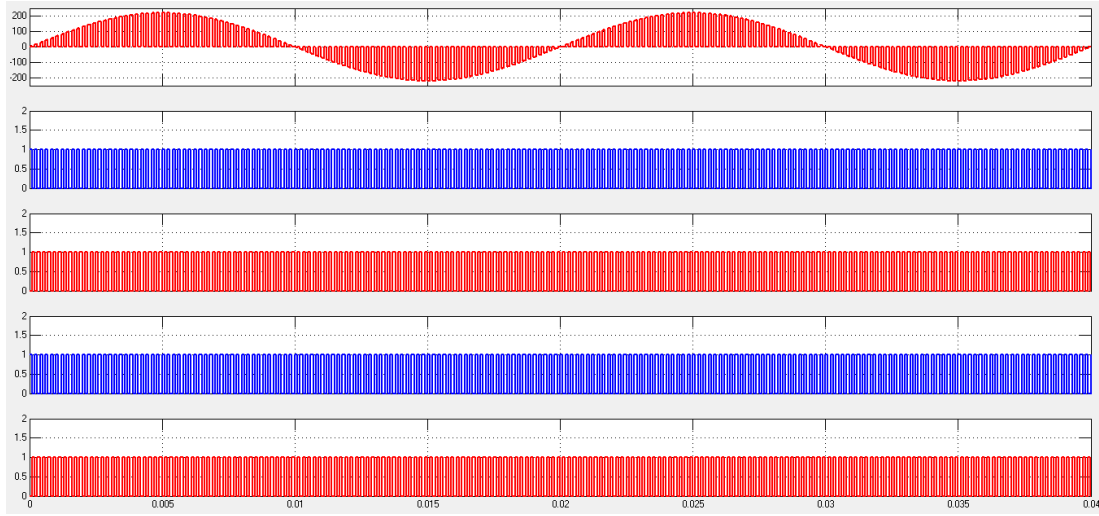
Şekil 3.3 : Anahtarlama fonksiyonları arasındaki ölü zaman.

Anahtarlama fonksiyonları farklı doluluk oranları ve farklı frekanslarda olabilmektedir. DGM AA kıyıcının benzetim yöntemi ile testlerinde farklı anahtarlama fonksiyonları kullanılmaktadır. Böylelikle farklı yükler, farklı anahtarlama frekansı ve doluluk oranında DGM AA kıyıcının çalışma koşulları, akım ve gerilim değerleri gözlemlenebilecektir.

Tek fazlı AA kıyıcısındaki dört anahtarın anahtarlama işaretleri ve çıkış geriliminin grafiği Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'de gösterilmektedir. Şekillerde sırasıyla çıkış gerilimi, S_1 anahtarlama işareti, S_{1c} anahtarlama işareti, S_2 anahtarlama işareti ve S_{2c} anahtarlama işareti görülmektedir. Şekil 3.4'de anahtarlama frekansı $f_s = 500$ Hz iken Şekil 3.5'da 5 kHz'dir.



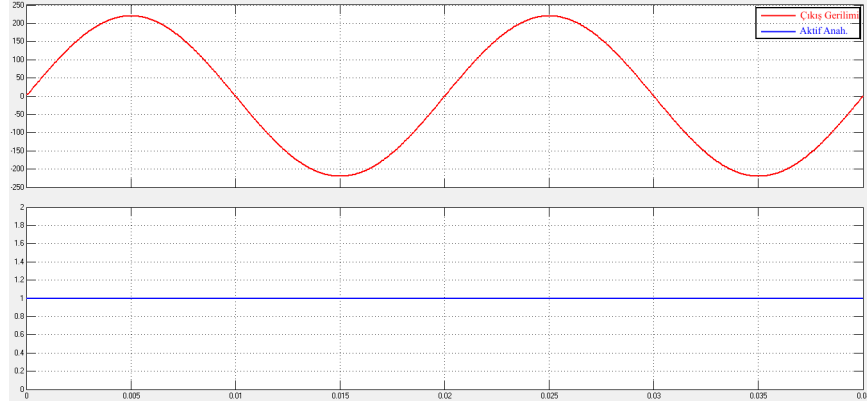
Şekil 3.4 : AA sönümlü tek fazlı AA kıyıcı çıkış gerilimi, S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 500$ Hz).



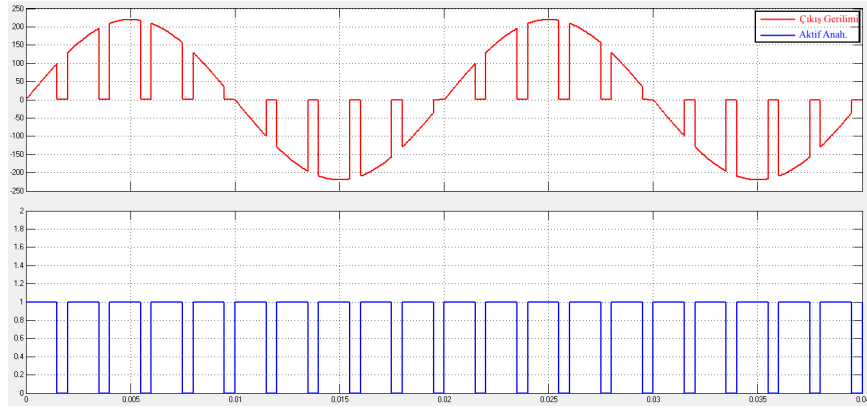
Şekil 3.5 : AA sönümlü tek fazlı AA kıyıcı çıkış gerilimi, S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 5000$ Hz).

Anahtarlama işaretleri incelendikten sonra, çıkış gerilimi ve aktif anahtarların doluluk oranları ile etkileşimi incelenmiştir. Şekil 3.6 – Şekil 3.10 arasındaki görüntülerde farklı doluluk oranları ile çıkış gerilimleri gösterilmektedir. Şekillerde kırmızı sinyal grafiği çıkış gerilimi ve mavi sinyal ise aktif anahtarların işaretini göstermektedir. Anahtarlama frekansı $f_s = 500$ Hz’dir.

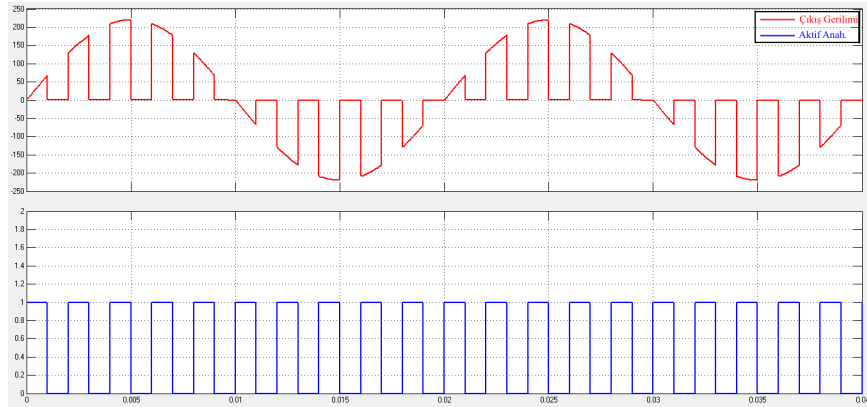
Elde edilen benzetim sonuçlarından da görüldüğü gibi, çıkış gerilimi aktif anahtarların tetiklendiği zaman aralıklarında giriş gerilimi değerini almaktadır. Aktif anahtarların kapalı ve serbest geçiş anahtarların aktif durumda olduğu serbest geçiş durumunda ise çıkış gerilimi sıfır olmaktadır.



Şekil 3.6 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=100\%$.

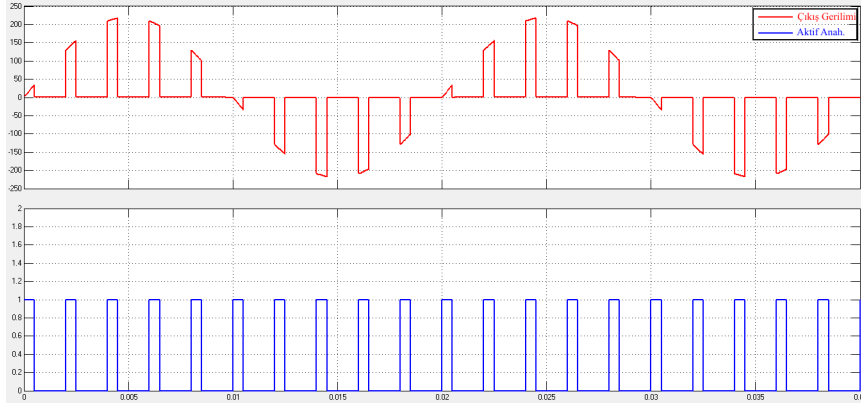


Şekil 3.7 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=75\%$.

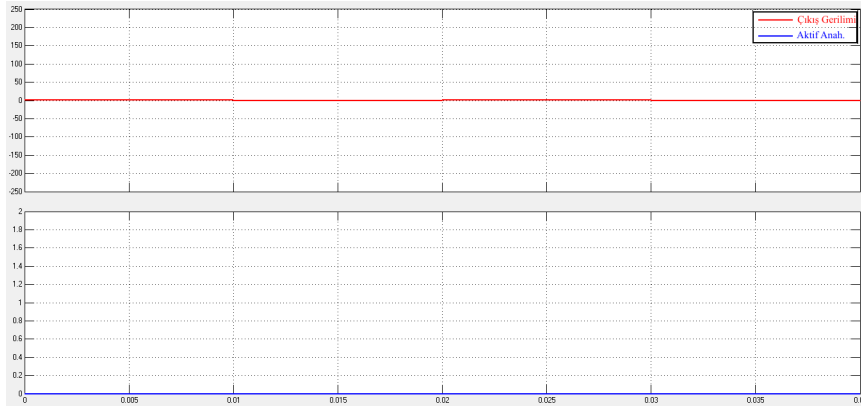


Şekil 3.8 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti $D=50\%$.

AA sönümlü tek fazlı DGM AA kıyıcının farklı yük tiplerinde, farklı anahtarlama frekansında ve sönümleyicilerin farklı değerlerinde başarımını incelemek için bir takım benzetimler yapılmış ve sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.9 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti D=%25.



Şekil 3.10 : AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtarlama işareti D=%0.

Farklı yük senaryolarında her bir benzetim kendi içinde farklı doluluk oranlarında (D) tekrar edilmişlerdir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.32 arasında AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcının benzetim sonuç grafikleri görülmektedir. Herbir yüklenme koşulu için devre koşulları başlıkları içerisinde yer almaktadır. Grafiklerde kırmızı sinyal çıkış gerilimi ve mavi sinyal ise çıkış akımını göstermektedir.

Yük koşulları ve değerleri seçilirken, farklı yük açıları hedeflenmiştir. DGM AA kıyıcıların farklı yük açlarına göre çalışmasında, çıkış işaretlerindeki değişimin gözlemlenmesi planlanmıştır. 1 ve 2 numaralı yükler ile yük açısının etkisi araştırılmıştır. 3 numaralı yük ile sadece direnç tabanlı yükün çalışma durumları incelenmiştir. Yüklenme koşullarına ait yük değerleri altta sıralanmıştır.

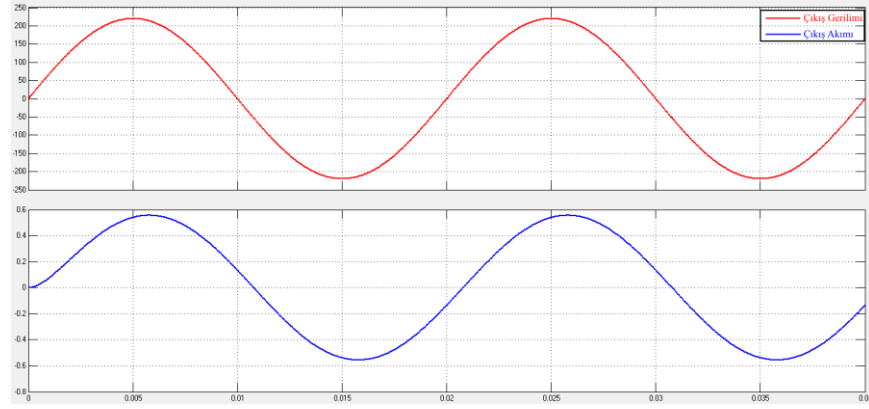
1. $R_o=384 \, \Omega$ $L_o= 305 \, \text{mH}$ Yük Empedansı: $396\angle 14^\circ$
2. $R_o=128 \, \Omega$ $L_o= 610 \, \text{mH}$ Yük Empedansı: $230\angle 56,28^\circ$
3. $R_o=128 \, \Omega$ $L_o= 0 \, \text{mH}$ Yük Empedansı: $128\angle 0^\circ$.

3.1.1.1 Yüklenme koşulu 1

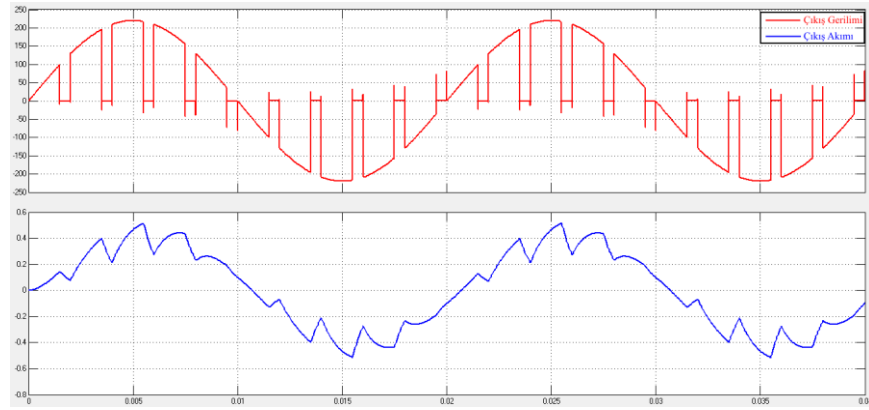
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu\text{F}$

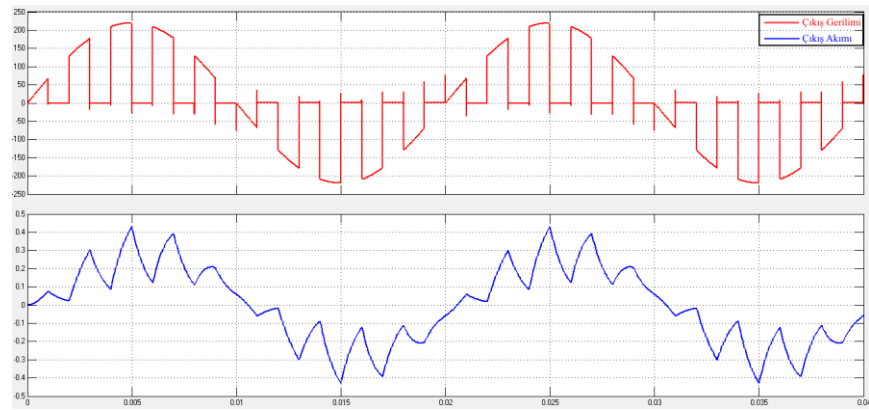
Yk Parametreleri: $R_o=384\ \Omega$ $L_o=305\ \text{mH}$



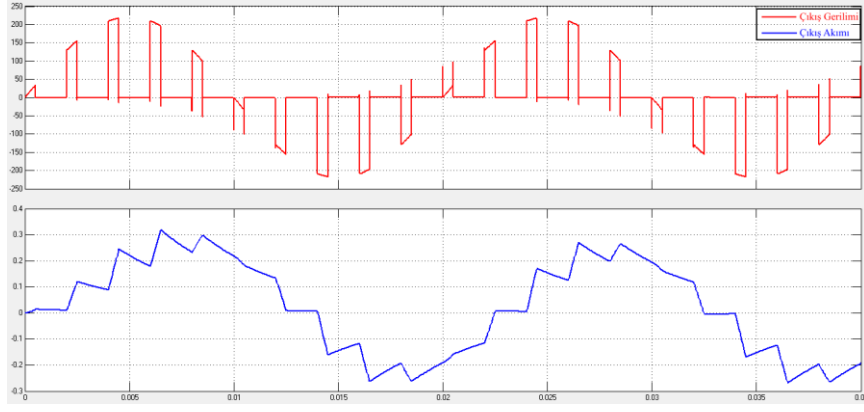
şekil 3.11 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%100$.



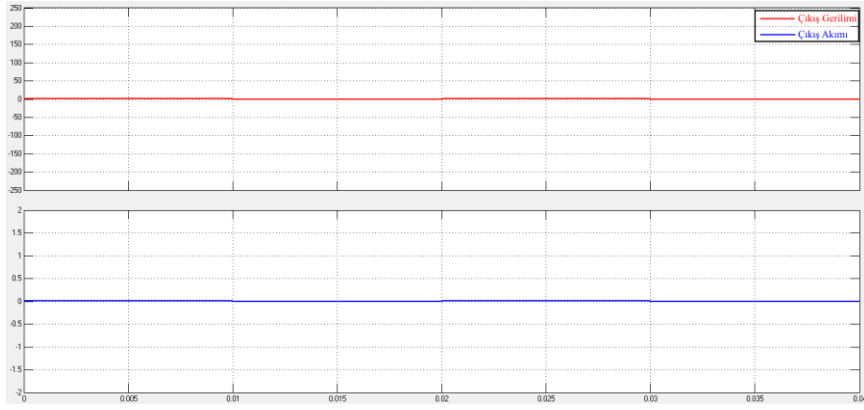
şekil 3.12 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%75$.



şekil 3.13 : Yüklenme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=\%50$.



Şekil 3.14 : Yükleme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=25\%$.



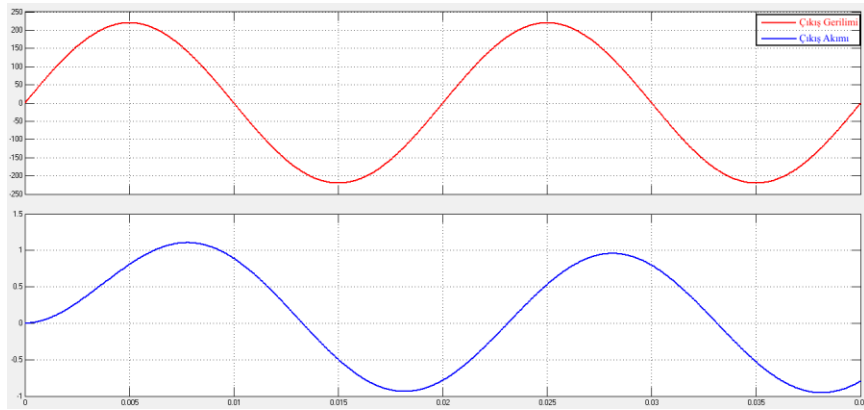
Şekil 3.15 : Yükleme koşulu 1 aktif anahtarlar $D=0\%$.

3.1.1.2 Yükleme koşulu 2

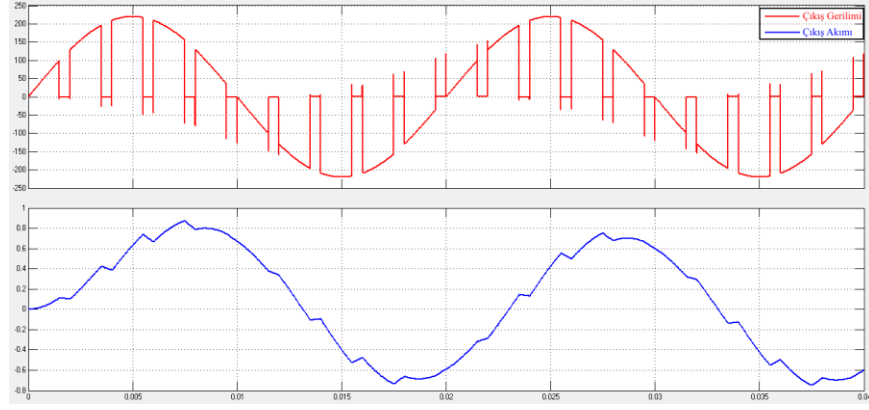
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu\text{F}$

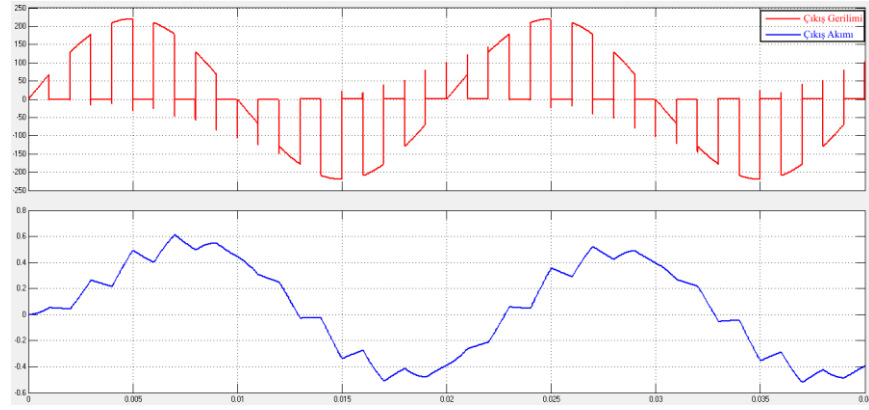
Yük Parametreleri: $R_o=128\ \Omega$ $L_o=610\ \text{mH}$



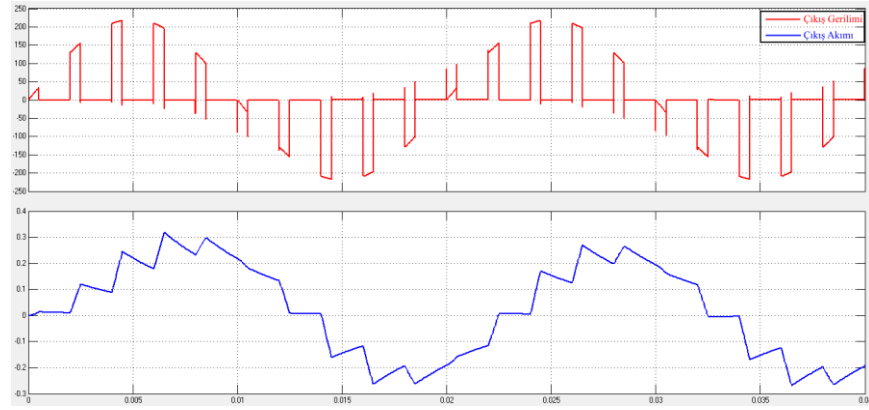
Şekil 3.16 : Yükleme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=100\%$.



Şekil 3.17 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.18 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=50\%$.



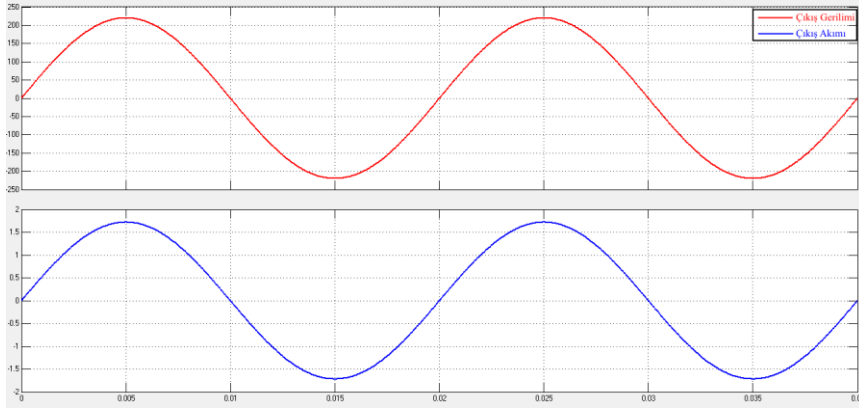
Şekil 3.19 : Yüklenme koşulu 2 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.1.1.3 Yüklenme koşulu 3

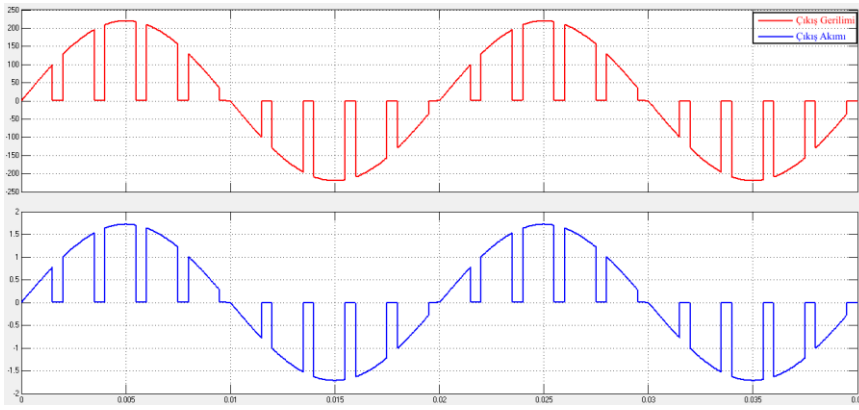
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

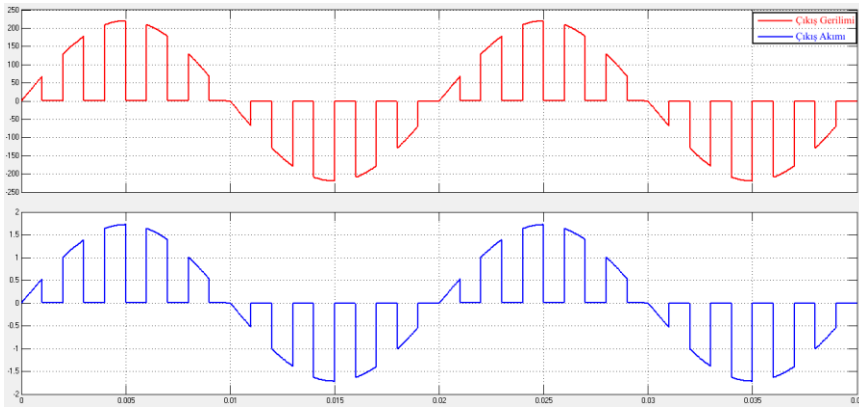
Yük Parametreleri: $R_o=128\ \Omega$ $L_o=0\ mH$



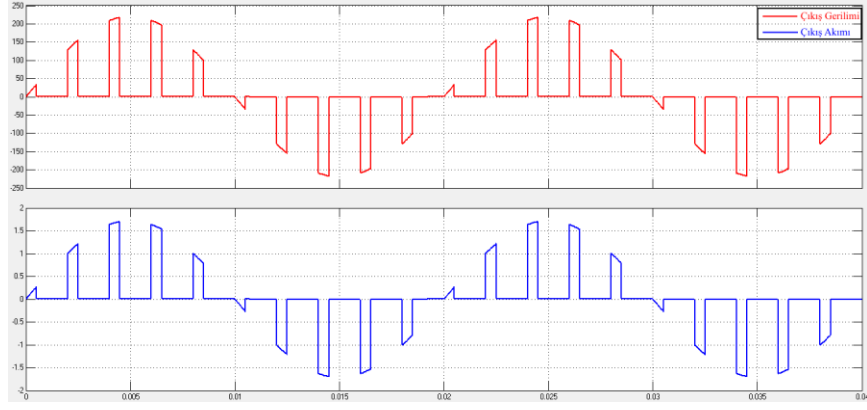
Şekil 3.20 : Yükleme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=100\%$.



Şekil 3.21 : Yükleme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.22 : Yükleme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=50\%$.



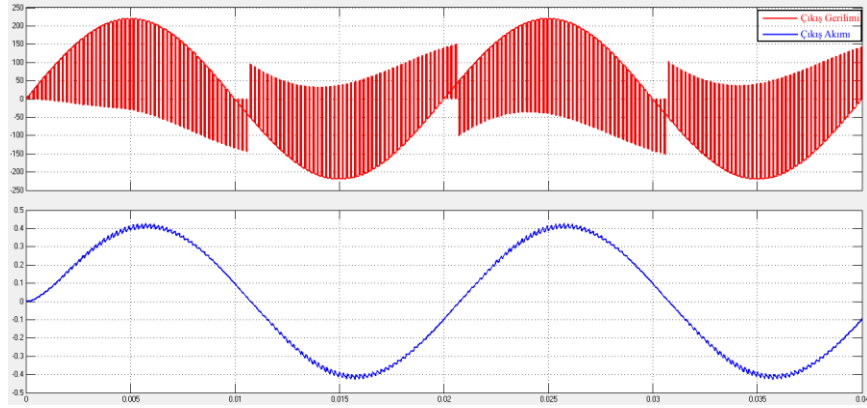
Şekil 3.23 : Yükleme koşulu 3 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.1.1.4 Yükleme koşulu 4

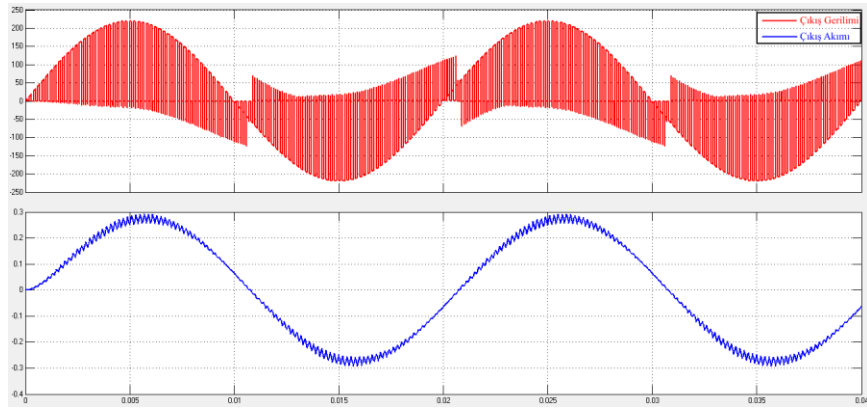
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

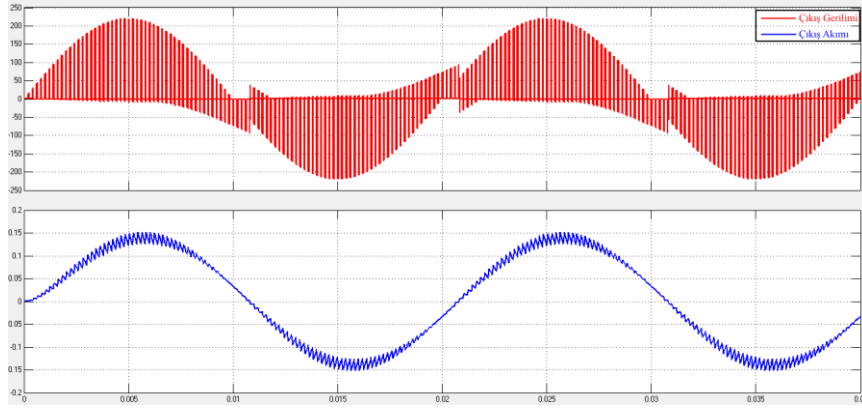
Yük Parametreleri: $R_o=384\ \Omega$ $L_o=305\ mH$



Şekil 3.24 : Yükleme koşulu 4 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.25 : Yükleme koşulu 4 aktif anahtarlar $D=50\%$.



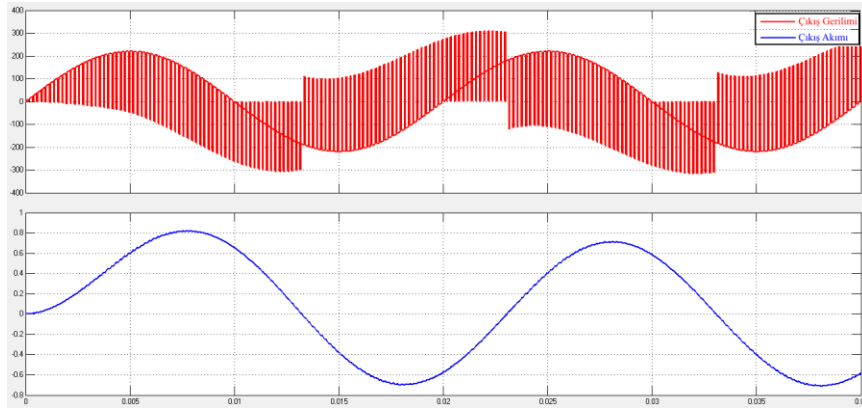
Şekil 3.26 : Yükleme koşulu 4 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.1.1.5 Yükleme koşulu 5

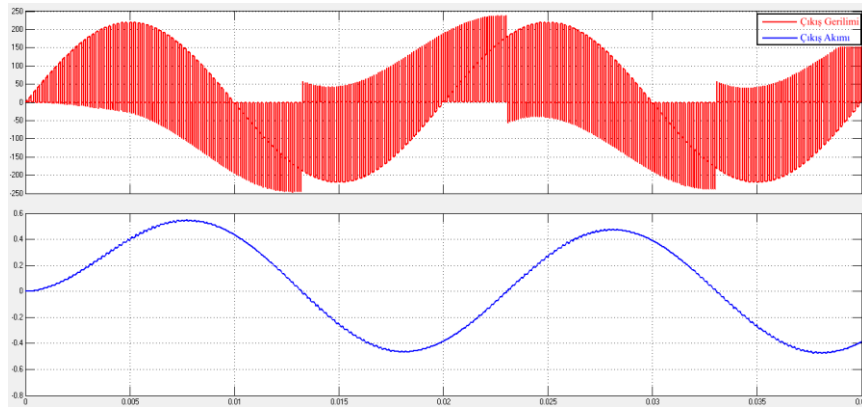
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu\text{F}$

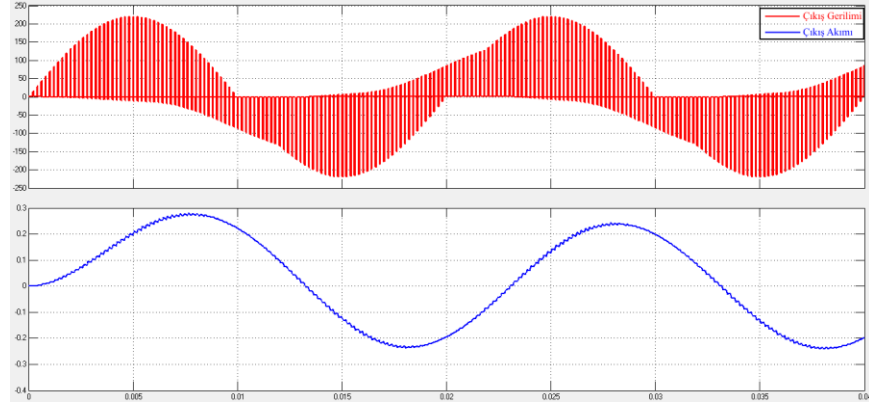
Yük Parametreleri: $R_o=128\ \Omega$ $L_o=610\ \text{mH}$



Şekil 3.27 : Yükleme koşulu 5 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.28 : Yükleme Koşulu 5 aktif anahtarlar $D=50\%$.



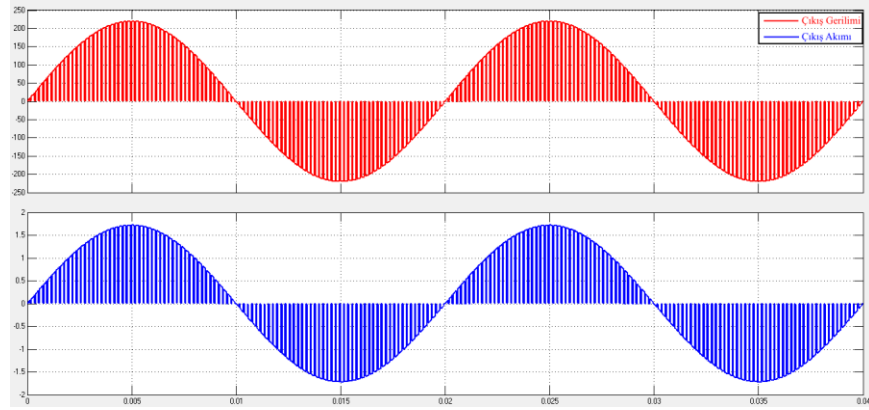
Şekil 3.29 : Yükleme koşulu 5 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.1.1.6 Yükleme koşulu 6

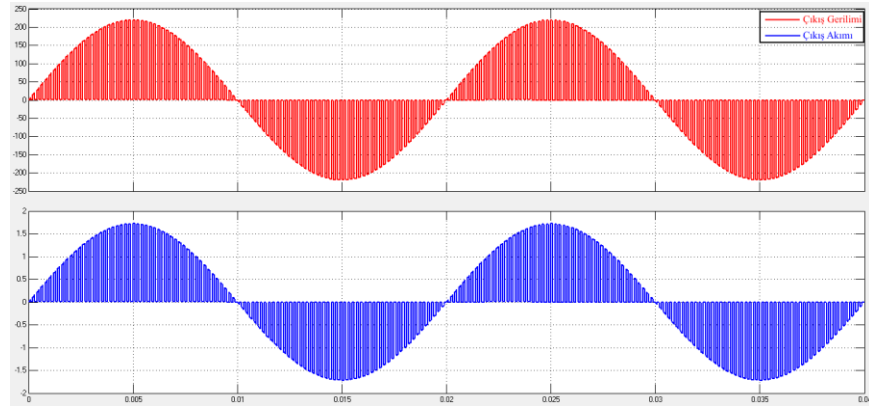
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

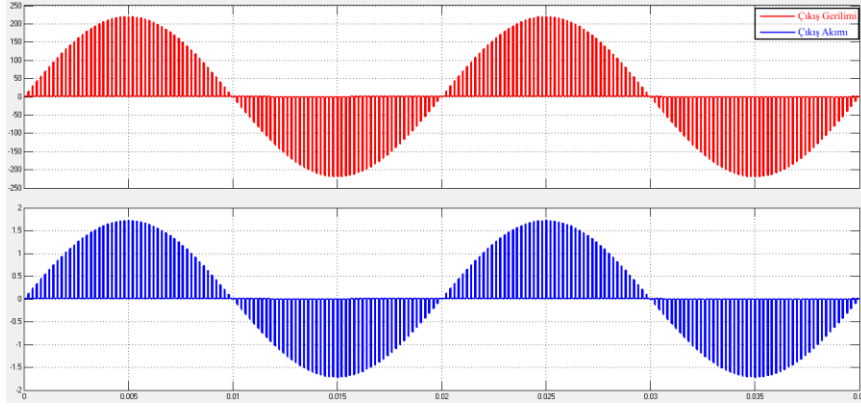
Yük Parametreleri: $R_o=128\ \Omega$ $L_o=0\text{ mH}$



Şekil 3.30 : Yükleme koşulu 6 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.31 : Yükleme koşulu 6 aktif anahtarlar $D=50\%$.

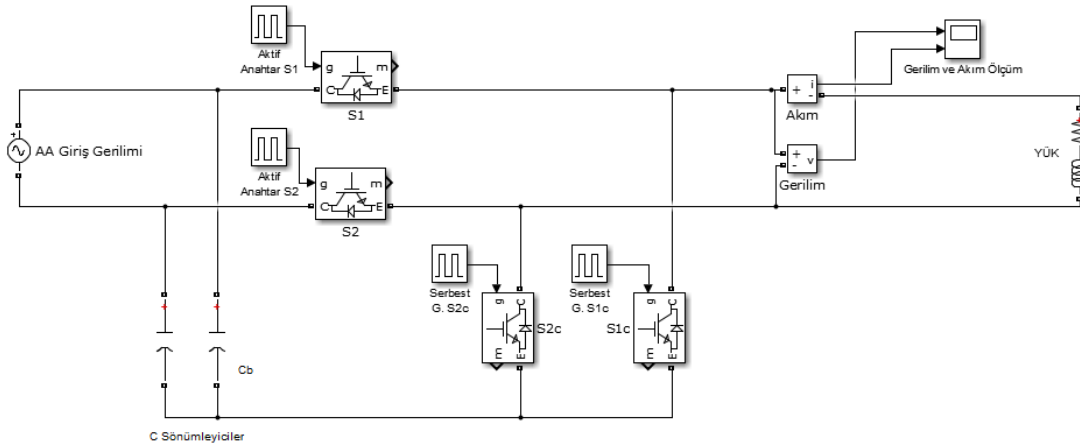


Şekil 3.32 : Yükleme koşulu 6 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.1.2 DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları

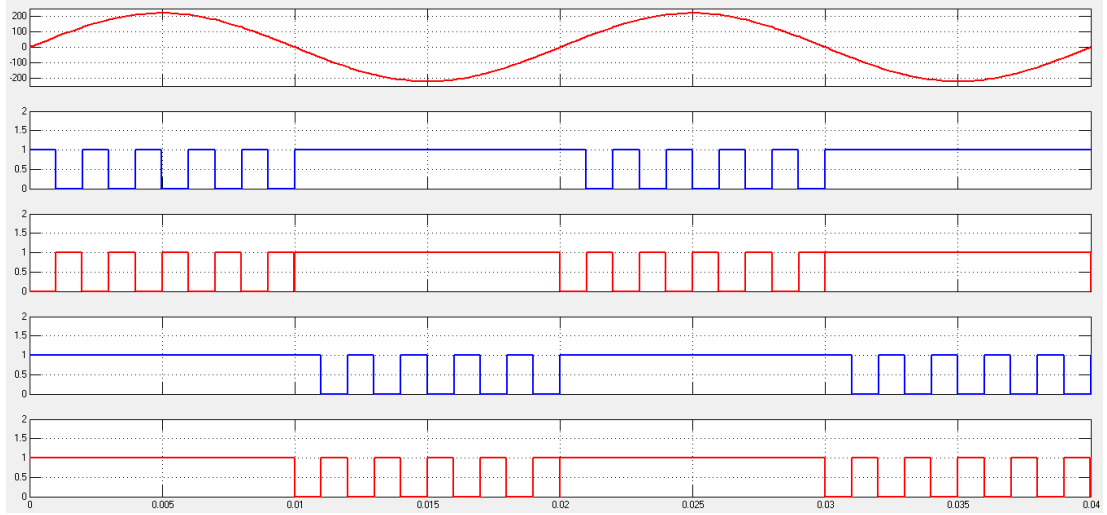
Tek fazlı DGM AA kıyıcılar içerisinde daha özel kontrol yöntemine sahip olan DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcılar benzetim yöntemi ile incelenmiştir. Şekil 3.33'te devre şemasının benzetimi gösterilmiştir.

Benzetimi yapılan devrede, AA giriş gerilimi, aktif anahtarlar (S_1 ve S_2), serbest geçiş anahtarları (S_{1c} ve S_{2c}), DA sönümleyici (C_b sönümleyiciler), anahtarlama fonksiyonu blokları, çıkış yükü (RL yükü), gerilim ve akım ölçüm problemleri görülmektedir. Bu elemanlar ile birlikte DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı oluşturulmuştur.

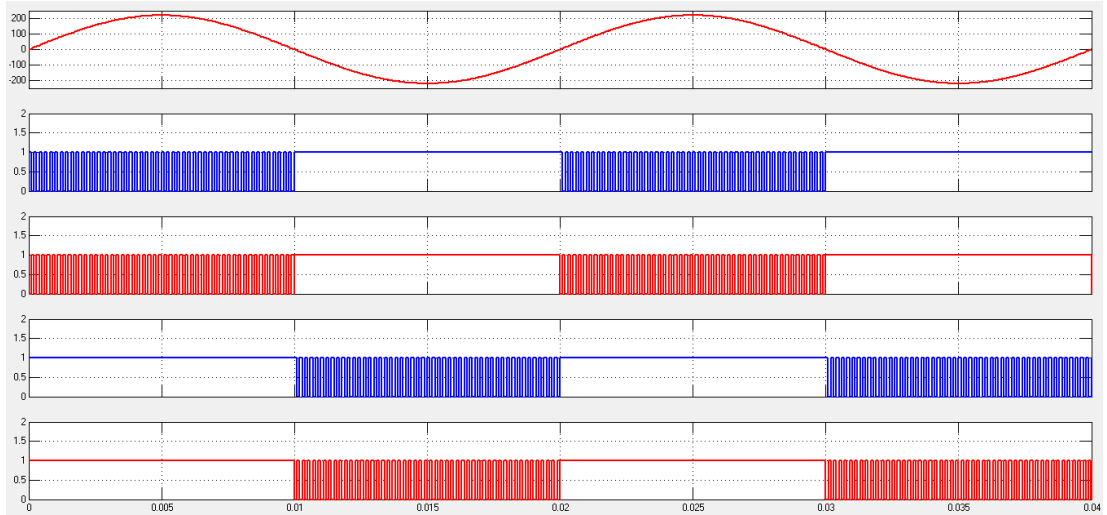


Şekil 3.33 : DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi.

Giriş geriliminin pozitif olduğu durumda S_1 ve S_{1c} geleneksel DGM yöntemindeki gibi oluşturulur fakat S_2 ve S_{2c} ise sürekli aktif durumda tutulurlar. Giriş geriliminin negatif değeri aldığı durumda ise tersi durum oluşur. S_2 ve S_{2c} geleneksel DGM yöntemindeki gibi oluşturulurken S_1 ve S_{1c} ise sürekli aktif durumda tutulmaktadır.

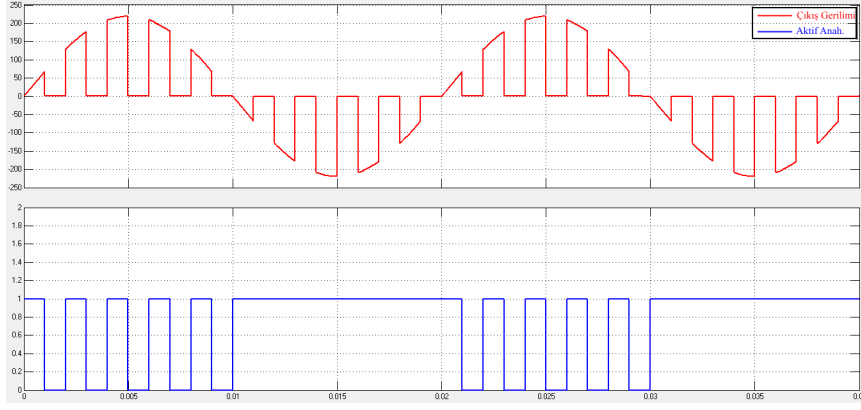


Şekil 3.34 : DA sönümlü tek fazlı DGM AA kıyıcı giriş gerilimi ve S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 500$ Hz).



Şekil 3.35 : DA sönümlü tek fazlı DGM AA kıyıcı giriş gerilimi ve S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama işaretleri ($f_s = 5000$ Hz).

Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'te giriş gerilimi ve oluşturulan özel anahtarlama fonksiyonu gösterilmektedir. Şekillerde sırasıyla giriş gerilimi, S_1 , S_{1c} , S_2 ve S_{2c} anahtarlama fonksiyonu gösterilmiştir. Şekil 3.34'teki anahtarlama frekansı $f_s = 500$ Hz ve Şekil 3.35'te 5000 Hz'dir. S_1 aktif anahtarına uygulanan işaret %50 doluluk oranında iken elde edilen çıkış gerilimi ve aktif anahtar işareti şekil 3.36 de gösterilmiştir.



Şekil 3.36 : DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve S_1 anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).

DA sönümlü tek fazlı DGM AA kıyıcı devresinin farklı yüklenme koşullarında ve anahtarlama frekanslarında benzetimleri yapılacak ve devrenin başarımı incelenecektir. Benzetim testleri $D=50\%$ doluluk oranları ile yapılmıştır. AA sönümleyicili kıyıcıları başlığında farklı doluluk oranları incelendiğinden dolayı tekrar tüm doluluk oranlarını incelenmemiştir.

Şekil 3.37 ve Şekil 3.42 arasında DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcının benzetim sonuçları görülmektedir. Herbir yüklenme koşulu için devre koşulları başlıkları içerisinde yer almaktadır. Grafiklerde ilk kırmızı ile gösterilen sinyal çıkış gerilimi ve mavi sinyal ile gösterilen ise çıkış akımını göstermektedir. Yüklenme koşullarına ait yük değerleri altta sıralanmıştır.

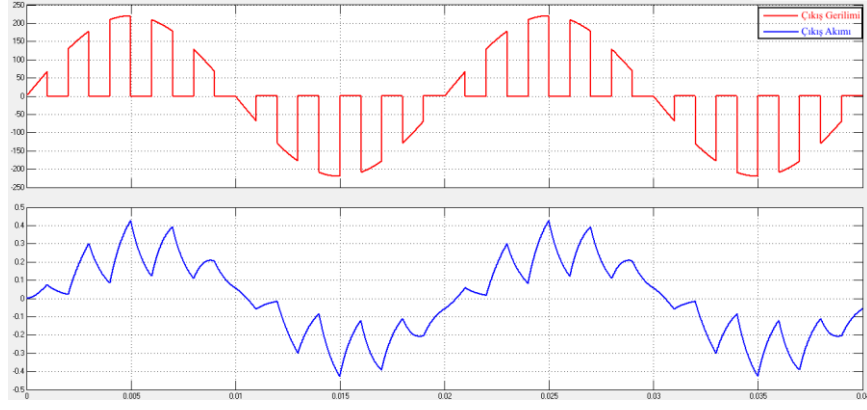
1. $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305$ mH Yük Empedansı: $396\angle 14^\circ$
2. $R_o=128 \Omega$ $L_o= 610$ mH Yük Empedansı: $230\angle 56,28^\circ$
3. $R_o=128 \Omega$ $L_o= 0$ mH Yük Empedansı: $128\angle 0^\circ$.

3.1.2.1 Yüklenme koşulu 7

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

C Sönümleyici: $C_b= 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305$ mH



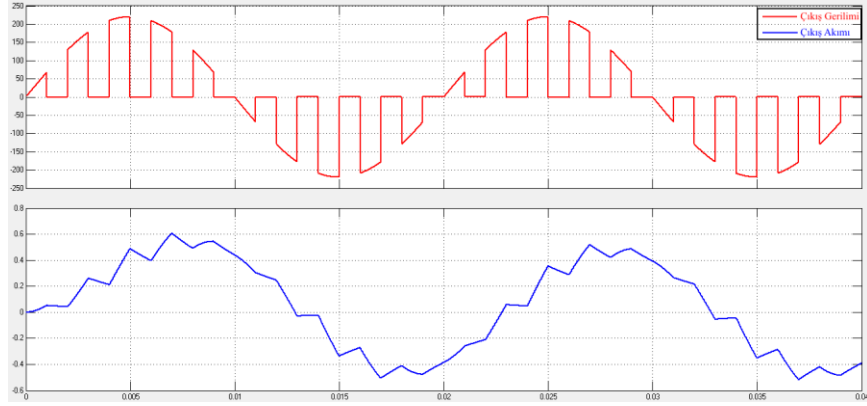
Şekil 3.37 : Yükleme koşulu 7 aktif anahtarlar $D=50\%$.

3.1.2.2 Yükleme koşulu 8

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 128 \Omega$ $L_o = 610 \text{ mH}$



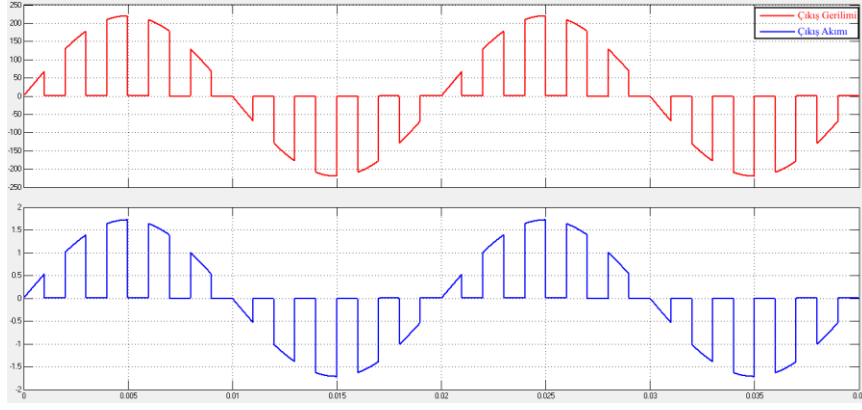
Şekil 3.38 : Yükleme koşulu 8 aktif anahtarlar $D=50\%$.

3.1.2.3 Yükleme koşulu 9

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 128 \Omega$ $L_o = 0 \text{ mH}$



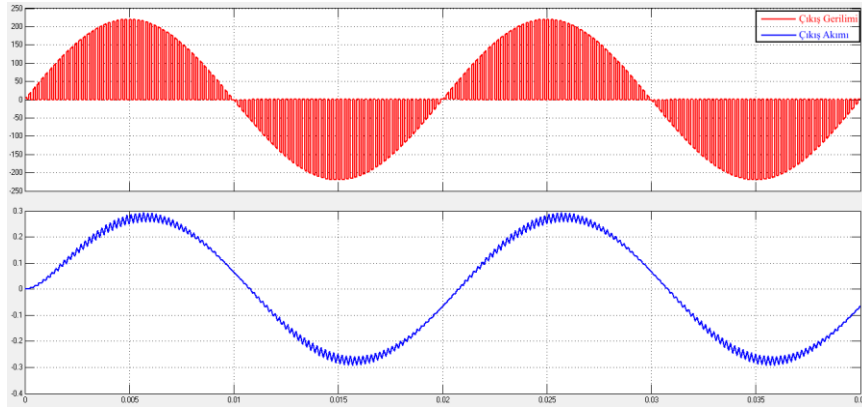
Şekil 3.39 : Yükleme koşulu 9 aktif anahtarlar $D=50\%$.

3.1.2.4 Yükleme koşulu 10

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 384 \Omega$ $L_o = 305 mH$



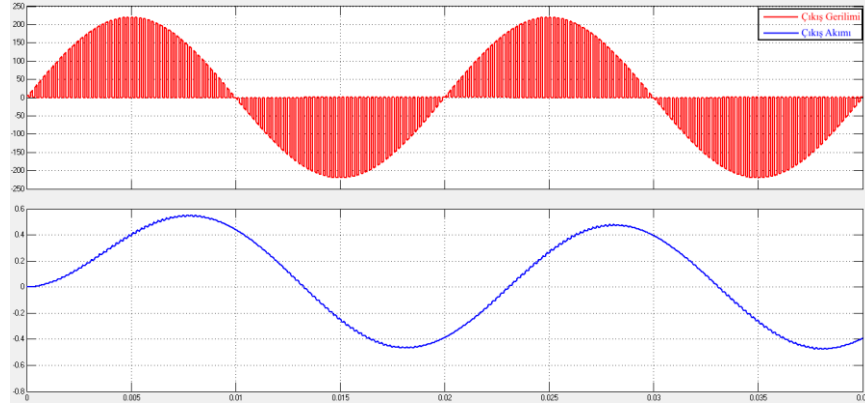
Şekil 3.40 : Yükleme koşulu 10 aktif anahtarlar $D=50\%$.

3.1.2.5 Yükleme koşulu 11

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 128 \Omega$ $L_o = 610 mH$



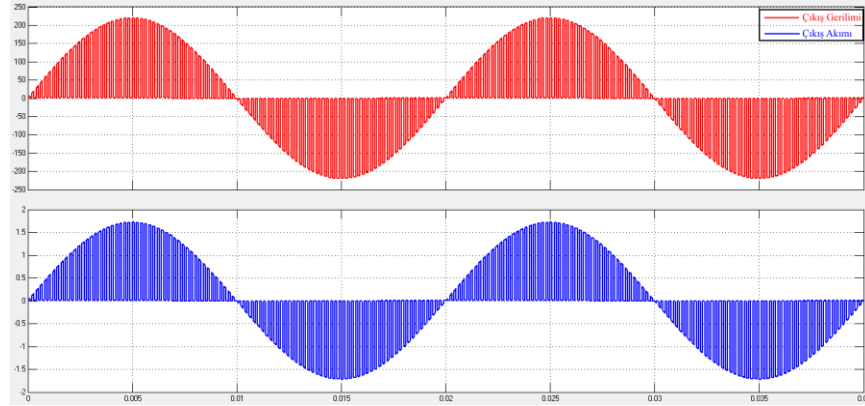
Şekil 3.41 : Yükleme koşulu 11 aktif anahtarlar $D=50\%$.

3.1.2.6 Yükleme koşulu 12

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 128 \Omega$ $L_o = 0 \text{ mH}$



Şekil 3.42 : Yükleme koşulu 12 aktif anahtarlar $D=50\%$.

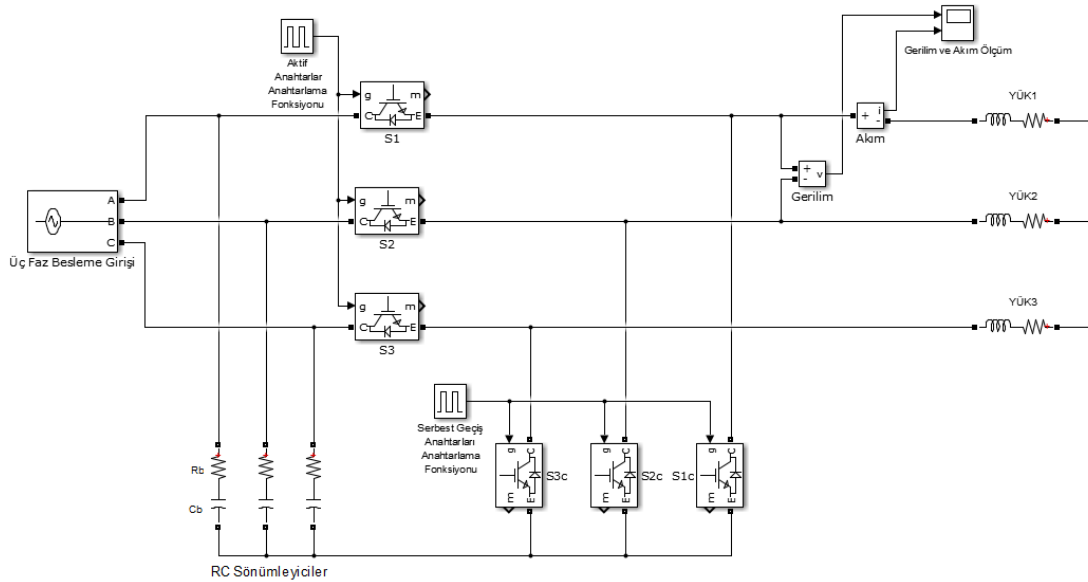
3.2 Üç fazlı DGM AA Kıyıcı Benzetimleri

Üç fazlı DGM AA kıyıcıların benzetim çalışmaları tek fazlı benzetim çalışmalarındaki gibi iki farklı devre yapısı için gerçekleştirilmiştir. DGM AA kıyıcıların daha geleneksel yöntemi olan AA sönümleyici kıyıcılar ve özel komutasyon yöntemine sahip DA sönümleyici kıyıcılar benzetim yöntemleri ile incelenmiştir. Tek fazlı kıyıcılardaki takip edilen adımlar üç fazlı DGM AA kıyıcılar için de geçerlidir.

Üç fazlı DGM AA kıyıcıların devre şemaları çalışma prensiplerinde gösterilmiştir ve benzetim yönteminde oluşturulan devre şemaları ifade edilen teknik bilgiler ile uyumlu olarak gerçekleştirilmiştir.

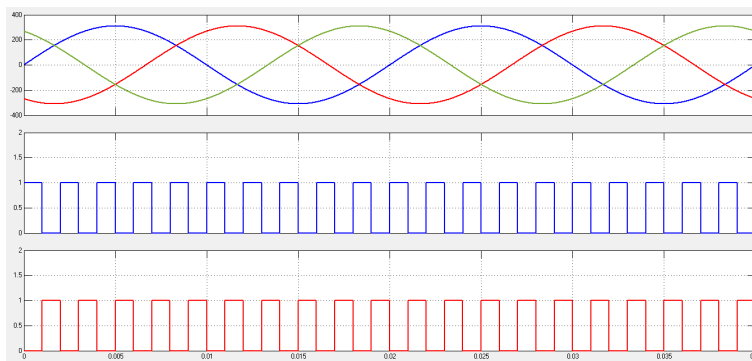
3.2.1 AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları

AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcılar, standart DGM kontrol yöntemine uygun olarak kontrol edilen ve devre şemasında RC sönümleyiciler içeren DGM AA kıyıcılar. Tek fazlı devre yapısı ile paralellik göstermektedirler ve üçüncü faz üzerine eklenen iki adet anahtarlama elemanı ile üç fazlı DGM AA kıyıcılar elde edilmektedir. Şekil 3.43'te AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi benzetimi görülmektedir.



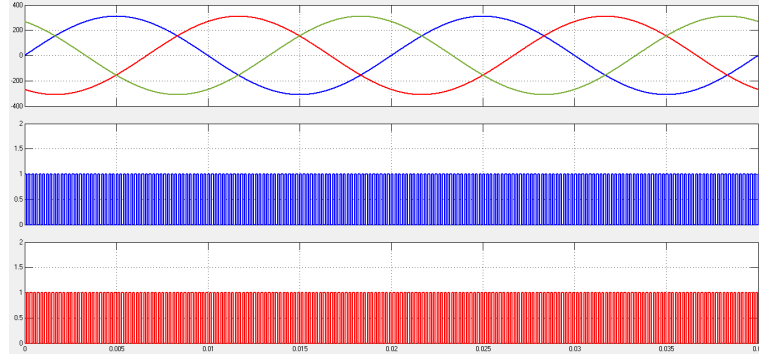
Şekil 3.43 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresi benzetimi.

Üç fazın yüke ulaşması aktif anahtarlar tarafından (S_1 , S_2 ve S_3) sağlamaktadır. Aktif anahtarların çalışmasına ters olarak yük gerilimini sıfır yapan serbest geçiş anahtarları ise S_{1c} , S_{2c} ve S_{3c} olarak gösterilmiştir. Geleneksel DGM yöntemine uygun olarak aktif anahtarların hepsi aynı anda tetiklenmektedir. Serbest geçiş anahtarları ise aktif anahtarların tersi olacak şekilde tetiklenmektedirler.



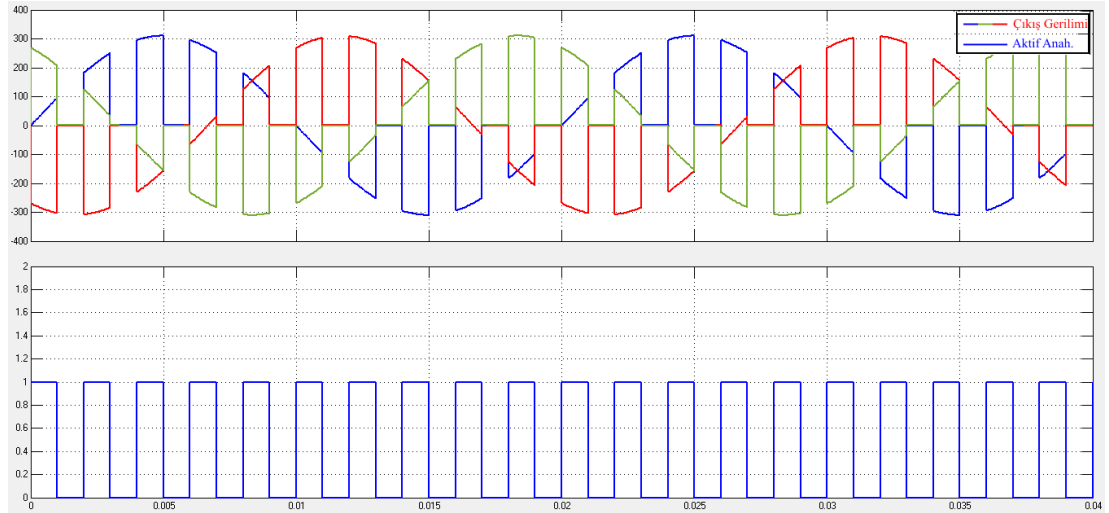
Şekil 3.44 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların giriş gerilimleri ve anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).

AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların anahtarlama fonksiyonu 500 Hz için Şekil 3.44'te ve 5000 Hz için Şekil 3.45'da gösterilmiştir. Şekillerde sırasıyla üç fazlı besleme gerilimi, aktif anahtarların ve serbest geçiş anahtarlarının sinyalleri gösterilmektedir. Her iki şekilde de aktif anahtarların doluluk oranı $D=50\%$ 'dir.



Şekil 3.45 : AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların giriş gerilimleri ve anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 5000$ Hz ve $D=50\%$).

Aktif anahtarlar 50% doluluk oranında iken devrenin çıkış gerilimi ve anahtarlama fonksiyonu Şekil 3.46'da görülmektedir.



Şekil 3.46 : AA sönümleyicili üç fazlı AA kıyıcıların çıkış gerilimleri ve aktif anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).

Şekil 3.47 ve Şekil 3.68 arasında AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcının benzetim sonuç grafikleri görülmektedir. Herbir yüklenme koşulu için devre koşulları başlıkları içerisinde yer almaktadır. Grafiklerde kırmızı ile gösterilen sinyal çıkış gerilimi ve mavi sinyal ile gösterilen ise çıkış akımını göstermektedir.

Şekil 3.44'de üç fazlı devrenin benzetimi üzerinde gerilim ve akım değerlerinin ölçüldüğü yerler gösterilmiştir. Çıkış gerilimi faz-faz arası yük geriliminden ve akım

ise birinci fazın bulunduğu çıkış ucundan ölçülmüştür. Yük parametreleri yükün tek bir fazı için verilmiştir ve üç faz için de simetriktir. Yüklenme koşullarına ait yük değerleri altta sıralanmıştır. Yükler üç fazlı olarak kullanılmaktadır ve değerler bir faz içindir.

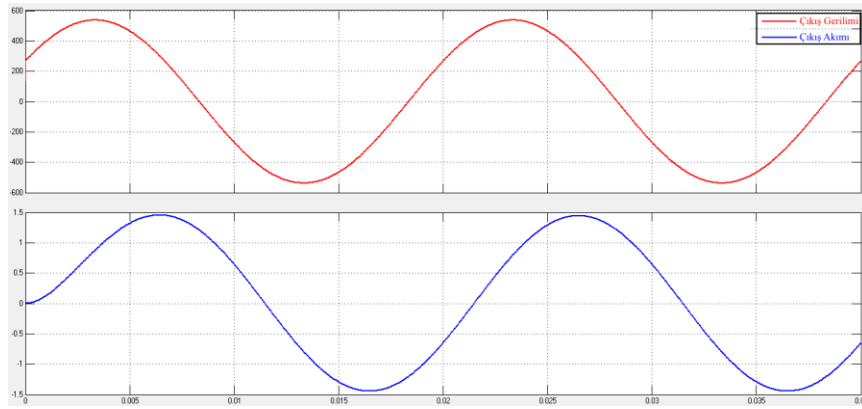
1. $R_o=192 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $215 \angle 26,46^\circ$
2. $R_o=96 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $214 \angle 63,57^\circ$
3. $R_o=96 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $96 \angle 0^\circ$.

3.2.1.1 Yüklenme koşulu 13

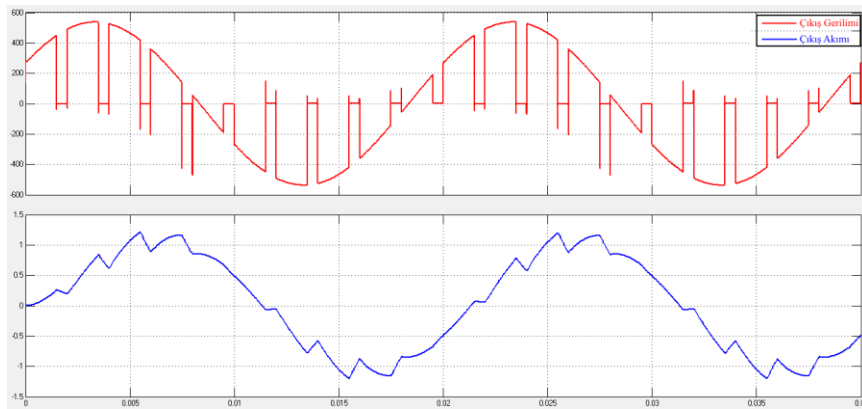
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120 \Omega$ $C_b= 0,1 \mu\text{F}$

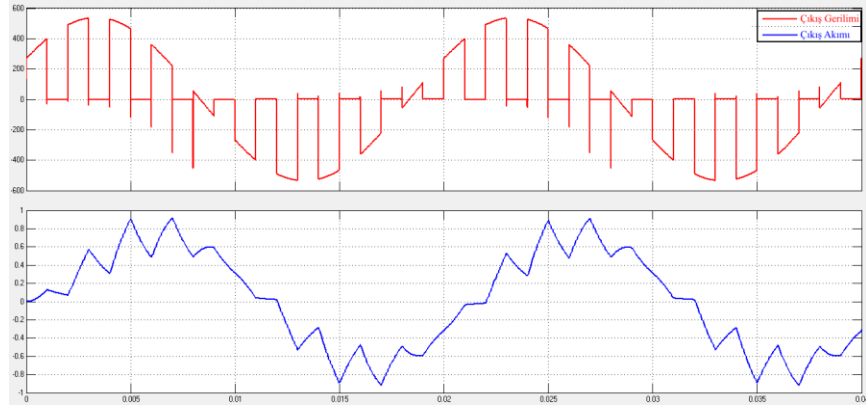
Yük Parametreleri: $R_o=192 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$



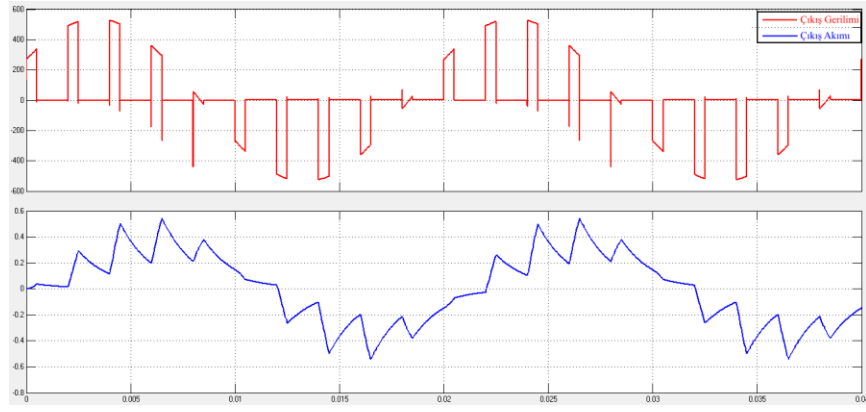
Şekil 3.47 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=\%100$.



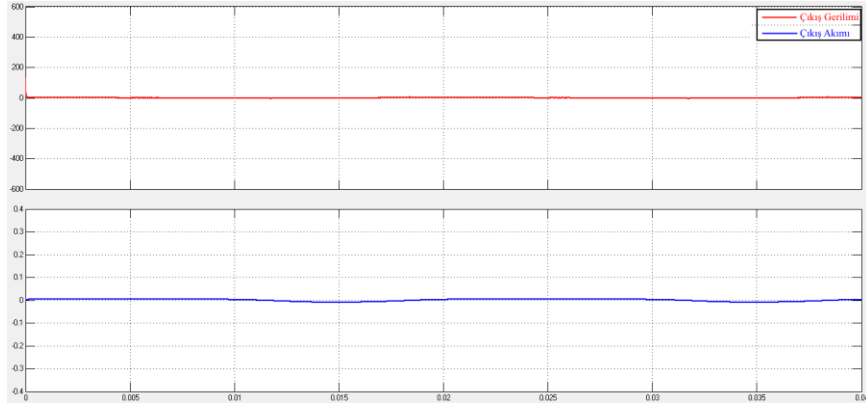
Şekil 3.48 : Yüklenme koşulu 13 aktif anahtarlar $D=\%75$.



Şekil 3.49 : Yükleme koşulu 13 aktif anahtarlar D=%50.



Şekil 3.50 : Yükleme koşulu 13 aktif anahtarlar D=%25.



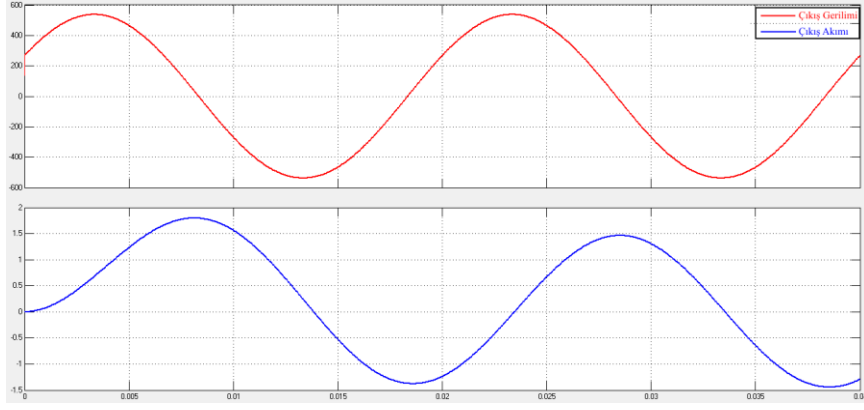
Şekil 3.51 : Yükleme koşulu 13 aktif anahtarlar D=%0.

3.2.1.2 Yükleme koşulu 14

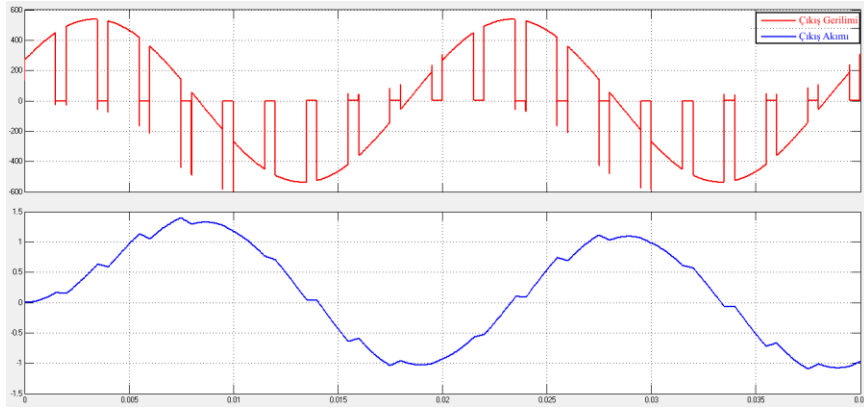
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

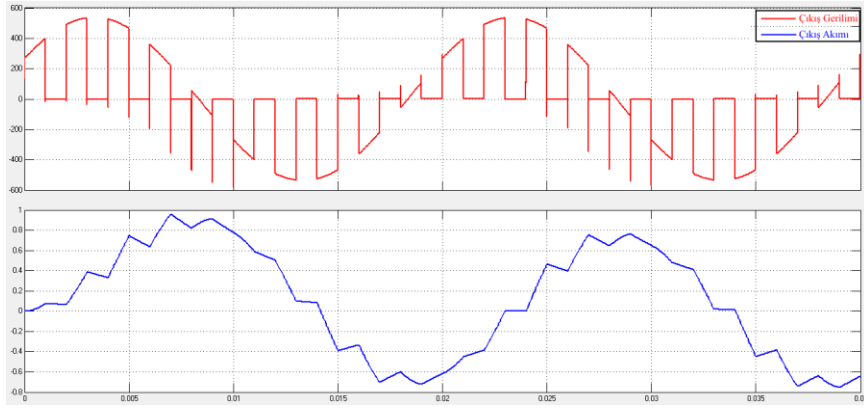
Yük Parametreleri: $R_o=96\ \Omega$ $L_o=610\ mH$



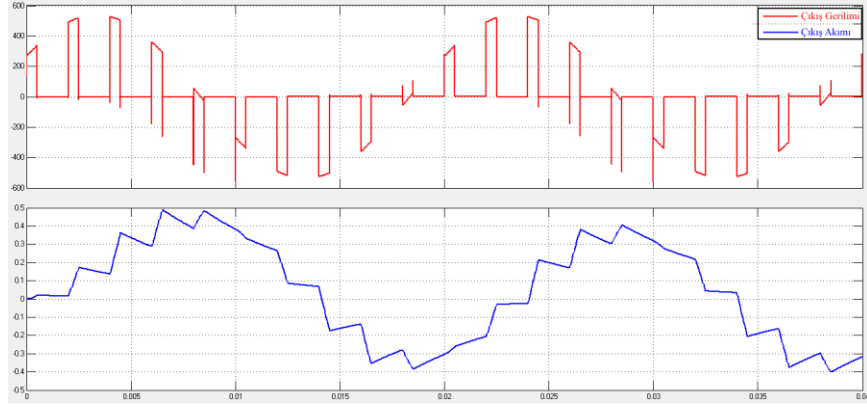
Şekil 3.52 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=100\%$.



Şekil 3.53 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.54 : Yüklenme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=50\%$.



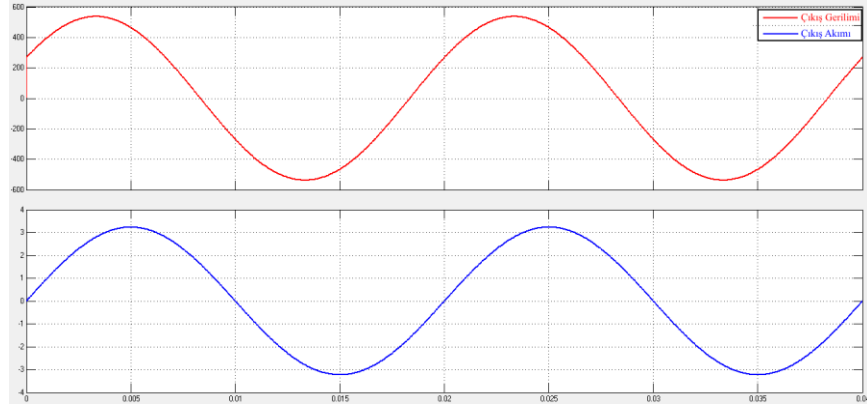
Şekil 3.55 : Yükleme koşulu 14 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.2.1.3 Yükleme koşulu 15

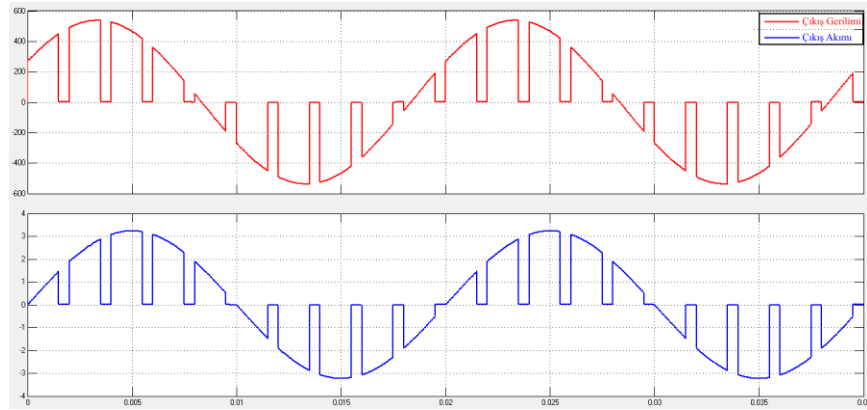
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

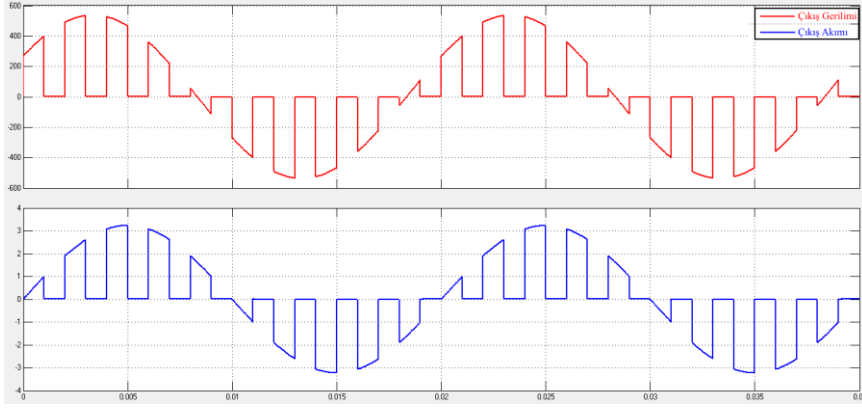
Yük Parametreleri: $R_o=96\ \Omega$ $L_o=0\ mH$



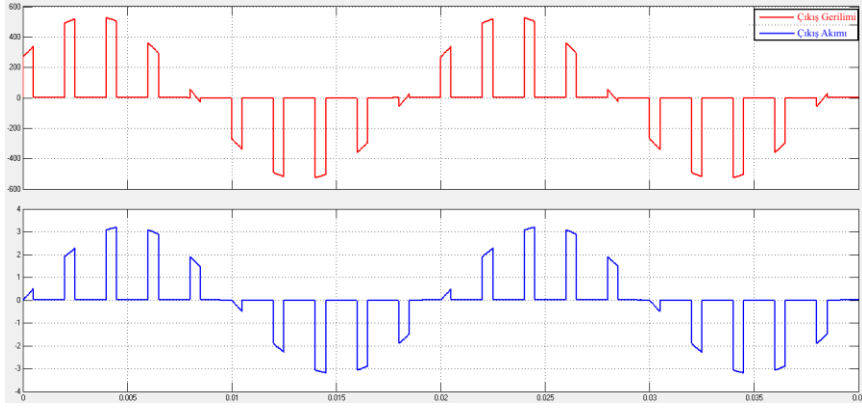
Şekil 3.56 : Yükleme koşulu 15 aktif anahtarlar $D=100\%$.



Şekil 3.57 : Yükleme koşulu 15 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.58 : Yüklenme koşulu 15 aktif anahtarlar D=%50.



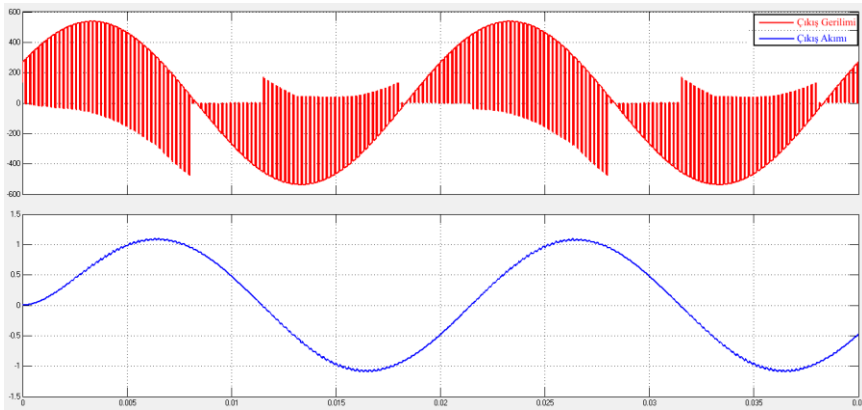
Şekil 3.59 : Yüklenme koşulu 15 aktif anahtarlar D=%25.

3.2.1.4 Yüklenme koşulu 16

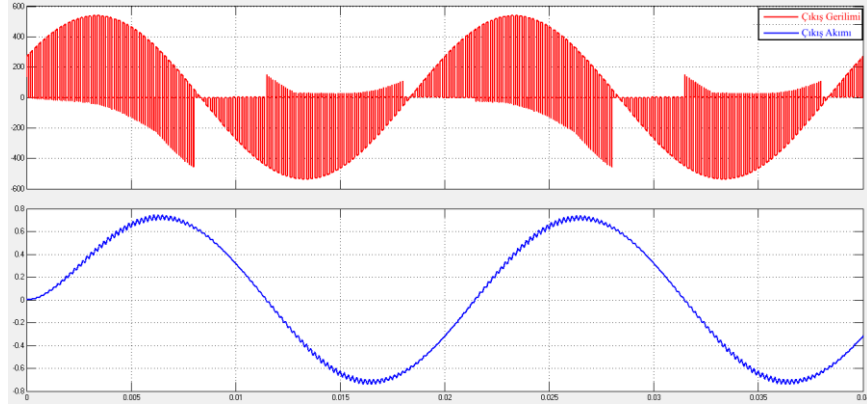
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120 \Omega$ $C_b=0,1 \mu F$

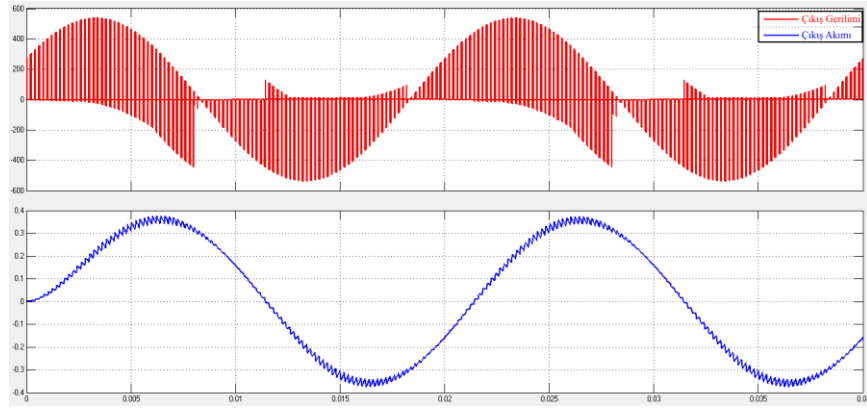
Yük Parametreleri: $R_o=192 \Omega$ $L_o=305 mH$



Şekil 3.60 : Yüklenme koşulu 16 aktif anahtarlar D=%75.



Şekil 3.61 : Yükleme koşulu 16 aktif anahtarlar $D=50\%$.



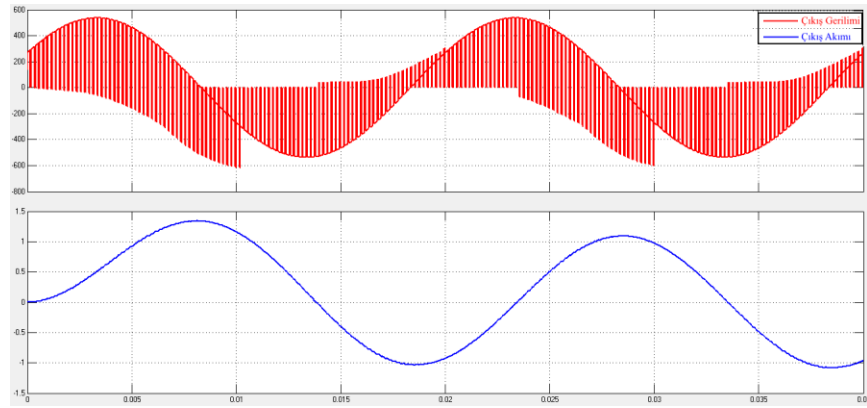
Şekil 3.62 : Yükleme koşulu 16 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.2.1.5 Yükleme koşulu 17

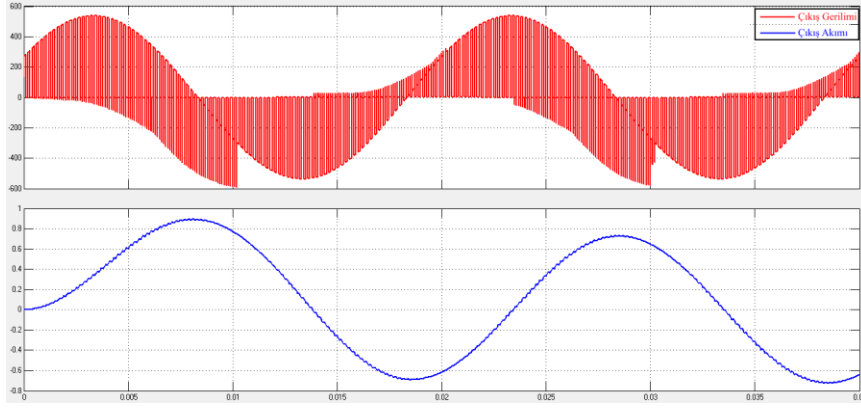
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

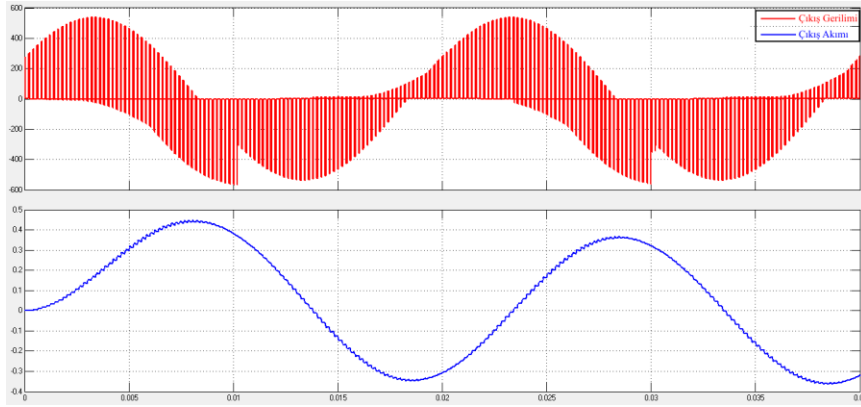
Yük Parametreleri: $R_o=96\ \Omega$ $L_o=610\ mH$



Şekil 3.63 : Yükleme koşulu 17 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.64 : Yüklenme koşulu 17 aktif anahtarlar $D=50\%$.



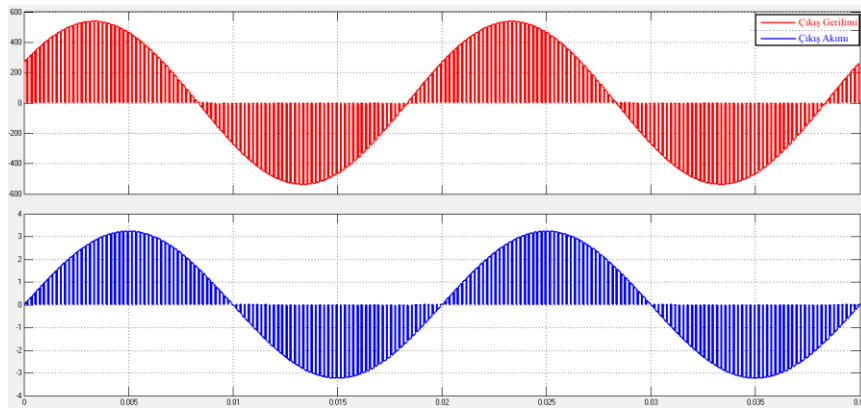
Şekil 3.65 : Yüklenme koşulu 17 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.2.1.6 Yüklenme koşulu 18

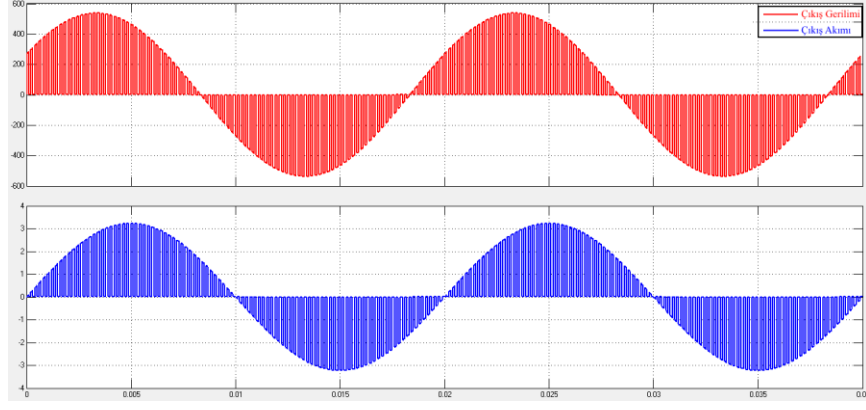
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

RC Sönümleyici: $R_b=120\ \Omega$ $C_b=0,1\ \mu F$

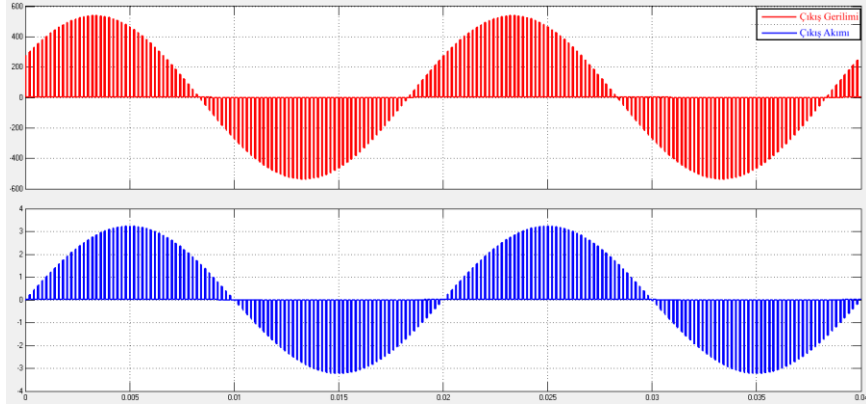
Yük Parametreleri: $R_o=96\ \Omega$ $L_o=0\ mH$



Şekil 3.66 : Yüklenme koşulu 18 aktif anahtarlar $D=75\%$.



Şekil 3.67 : Yükleme koşulu 18 aktif anahtarlar $D=50\%$.

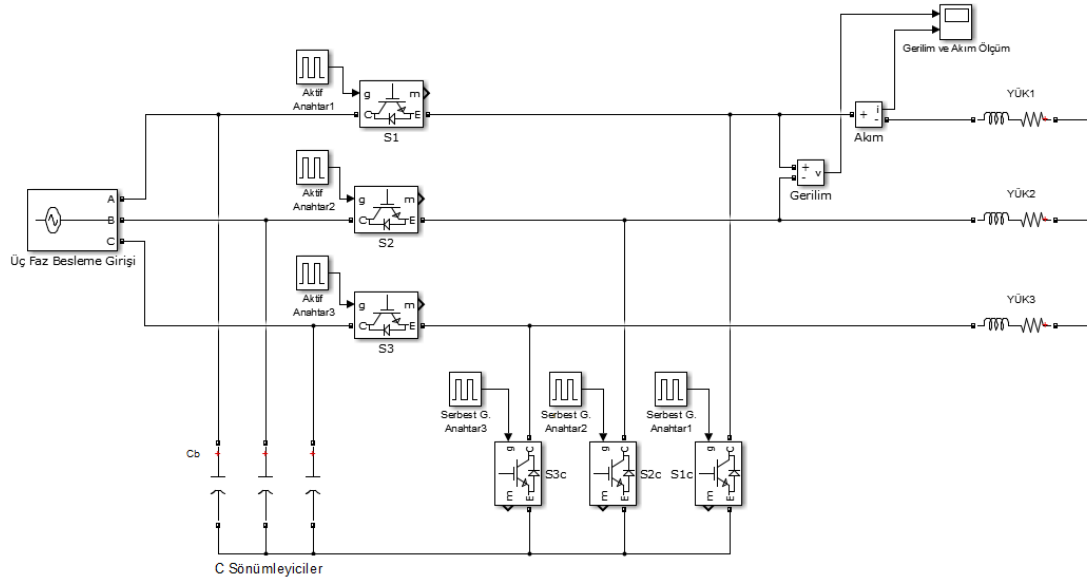


Şekil 3.68 : Yükleme koşulu 18 aktif anahtarlar $D=25\%$.

3.2.2 DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi ve sonuçları

DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların benzetimi, AA sönümleyici benzetimine yakınlık göstermekte fakat bazı temel farklılıklara sahiptir. DA sönümleyici kıyıcılar geleneksel DGM anahtarlamanın dışında özel bir kontrol ve komutasyon yöntemine sahip olduklarından dolayı tüm anahtarlama elemanların anahtarlama fonksiyonu birbirinden farklıdır ve giriş gerilimlerinin değerine göre ayarlanmaktadır. Ayrıca sönümleyiciler sadece kapasiteden oluşmaktadır. DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devresinin benzetimi Şekil 3.69'da gösterilmiştir.

Benzetimi yapılan devrede, üç fazlı besleme giriş gerilimi, aktif anahtarlar (S_1 , S_2 ve S_3), serbest geçiş anahtarları (S_{1c} , S_{2c} ve S_{3c}), DA sönümleyici (C_b sönümleyiciler), anahtarlama fonksiyonu blokları, üç fazlı çıkış yükü (RL yükü), gerilim ve akım ölçüm problemleri görülmektedir.



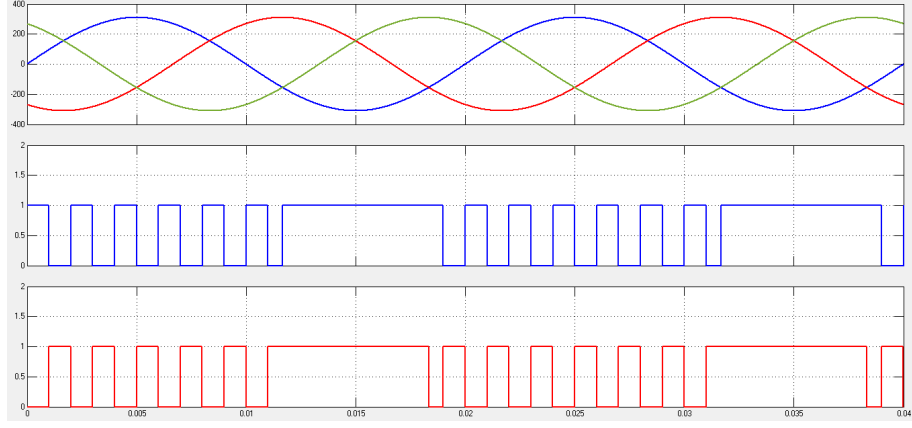
Şekil 3.69 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı benzetimi.

DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların kontrol yöntemi tek fazlı devre yapısına göre farklılık göstermektedir. Tek fazlıda giriş geriliminin pozitif veya negatif değerlerine göre anahtarlama işaretleri üretilmektedir.

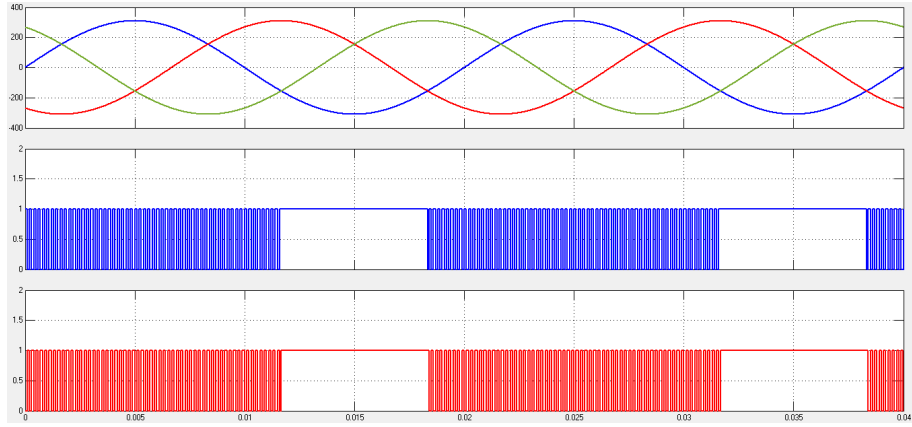
Üç fazlı devre yapısında ise üç fazlı besleme giriş gerilimleri anlık olarak sürekli okunmakta ve birbirleri ile kıyaslanmaktadır. En düşük gerilim değerine sahip faza göre anahtarlama işaretleri oluşturulmaktadır. En düşük faz üzerindenki anahtarların ikisi de sürekli açık tutulmaktadır.

Şekil 3.70 ve Şekil 3.71’de giriş gerilim değerleri, S_1 ve S_{1c} anahtarlarının anahtarlama fonksiyonları gösterilmektedir. Giriş gerilimlerinin gösterildiği ilk grafikte mavi renkli giriş gerilimi R fazıdır ve DGM AA kıyıcının ilk ucuna bağlıdır. Şekillerdeki grafikler 500 Hz ve 5 kHz anahtarlama frekanslarına göre ayrı ayrı incelenmiştir.

Grafiklerde dikkat edilmesi gereken giriş gerilimlerinin birbirlerine göre en düşük değeri aldığı zaman aralığıdır. R fazının en düşük değeri aldığı aralıkta, S_1 ve S_{1c} anahtarlarının ikisi de sürekli açık konumda tutulmuştur. Bunun haricindeki zaman dilimlerinde ise geleneksel DGM yöntemine göre modüle edilmiştir. Aktif anahtar S_1 ’in doluluk oranı $D = \%50$ ’dir.

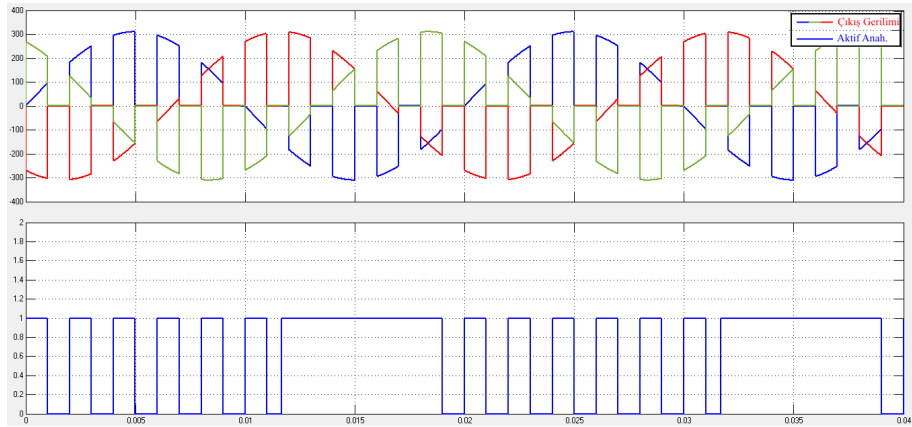


Şekil 3.70 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kırıyıcı giriş gerilimleri, S_1 ve S_{1c} anahtarlama fonksiyonları ($f_s = 500$ Hz ve $D=\%50$).



Şekil 3.71 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kırıyıcı giriş gerilimleri, S_1 ve S_{1c} anahtarlama fonksiyonları ($f_s = 5000$ Hz ve $D=\%50$)

Şekil 3.72’de çıkış gerilimleri ve S_1 aktif anahtarının %50 doluluk oranlı anahtarlama fonksiyonu gösterilmiştir.



Şekil 3.72 : DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kırıyıcı çıkış gerilimleri ve S_1 anahtarlama fonksiyonu ($f_s = 500$ Hz ve $D=\%50$).

DA sönümlü üç fazlı DGM AA kıyıcının çalışmasının doğruluğu test edildikten sonra kıyıcının yükleme testleri yapılarak çıkış akım ve gerilim değerleri farklı yük ve anahtarlama frekansları altında elde edilmiş ve gözlemlenmiştir.

Benzetim testleri %50 doluluk oranları ile yapılmıştır. AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların benzetiminin başlığında farklı doluluk oranları incelendiğinden dolayı tekrar tüm doluluk oranları incelenmemiştir.

Şekil 3.73 ve Şekil 3.78 arasında DA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcının benzetim sonuç grafikleri görülmektedir. Herbir yüklenme koşulu için devre koşulları başlıkları içerisinde yer almaktadır. Grafiklerde kırmızı ile gösterilen sinyal çıkış gerilimi ve mavi sinyal ile gösterilen ise çıkış akımını göstermektedir.

Şekil 3.69'da üç fazlı devrenin benzetimi üzerinde gerilim ve akım değerlerinin ölçüldüğü yerler gösterilmiştir. Çıkış gerilimi faz-faz arası yük geriliminden ve akım birinci fazın bulunduğu çıkış ucundan ölçülmüştür. Yükleme koşullarına ait yük değerleri altta sıralanmıştır..

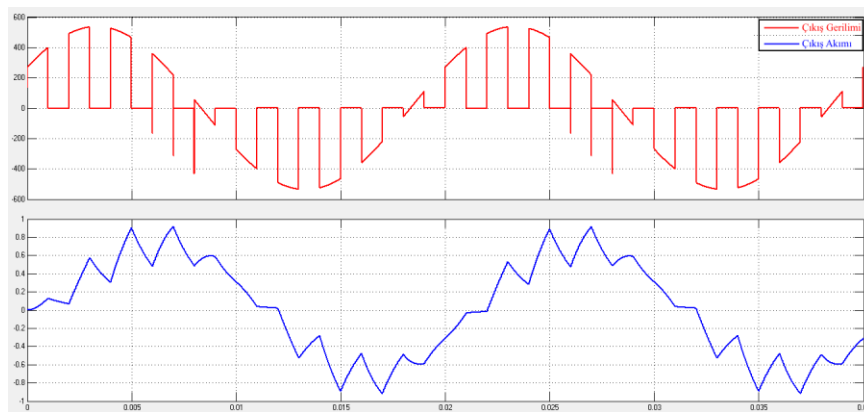
1. $R_o=192 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $215\angle 26,46^\circ$
2. $R_o=96 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $214\angle 63,57^\circ$
3. $R_o=96 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $96\angle 0^\circ$.

3.2.2.1 Yükleme koşulu 19

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

C Sönümleyici: $C_b= 0,1 \mu\text{F}$

Yük Parametreleri: $R_o=192 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$



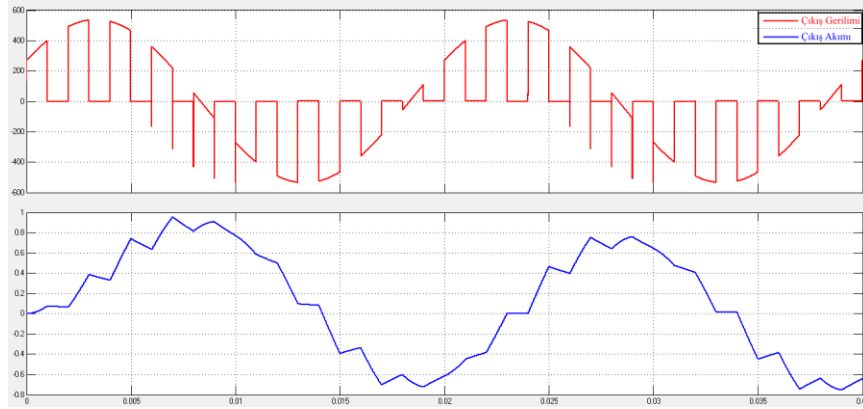
Şekil 3.73 : Yükleme Koşulu 19 aktif anahtarlar $D=\%50$.

3.2.2.2 Yüklenme koşulu 20

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 96 \Omega$ $L_o = 610 mH$



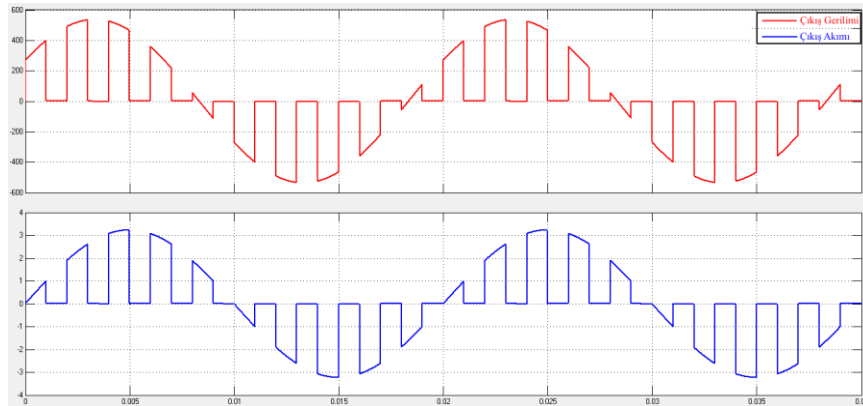
şekil 3.74 : Yüklenme koşulu 20 aktif anahtarlar $D = 50\%$.

3.2.2.3 Yüklenme koşulu 21

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o = 96 \Omega$ $L_o = 0 mH$



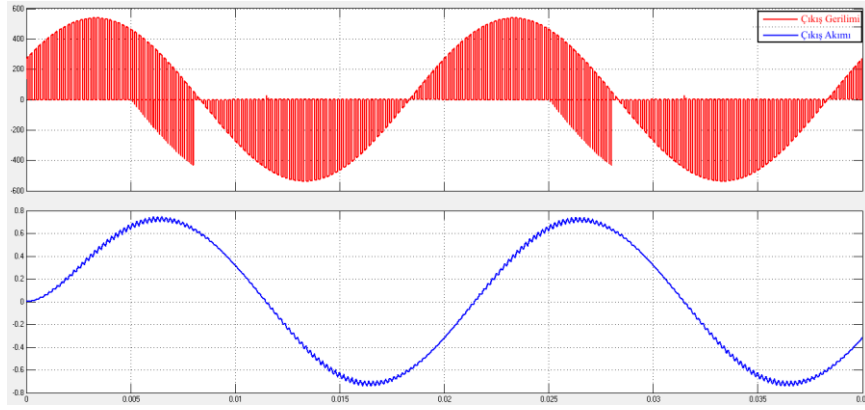
şekil 3.75 : Yüklenme koşulu 21 aktif anahtarlar $D = 50\%$.

3.2.2.4 Yüklenme koşulu 22

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

C Sönümleyici: $C_b = 0,1 \mu F$

Yük Parametreleri: $R_o=192\ \Omega$ $L_o= 305\text{ mH}$



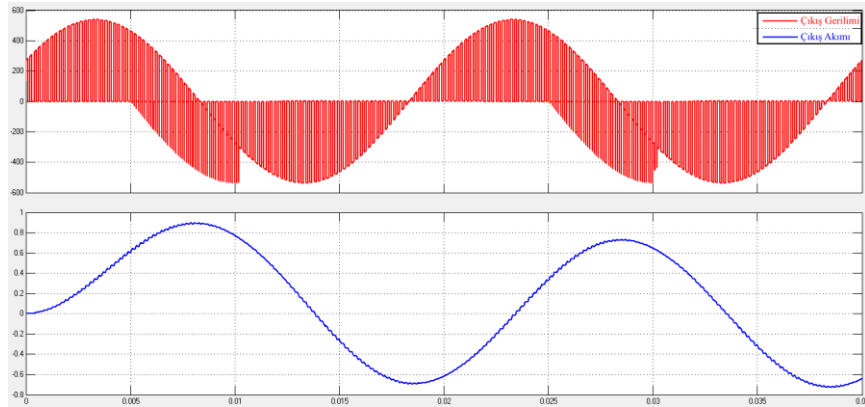
Şekil 3.76 : Yükleme koşulu 22 aktif anahtarlar $D=\%50$.

3.2.2.5 Yükleme koşulu 23

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

C Sönümleyici: $C_b= 0,1\ \mu\text{F}$

Yük Parametreleri: $R_o=96\ \Omega$ $L_o= 610\text{ mH}$



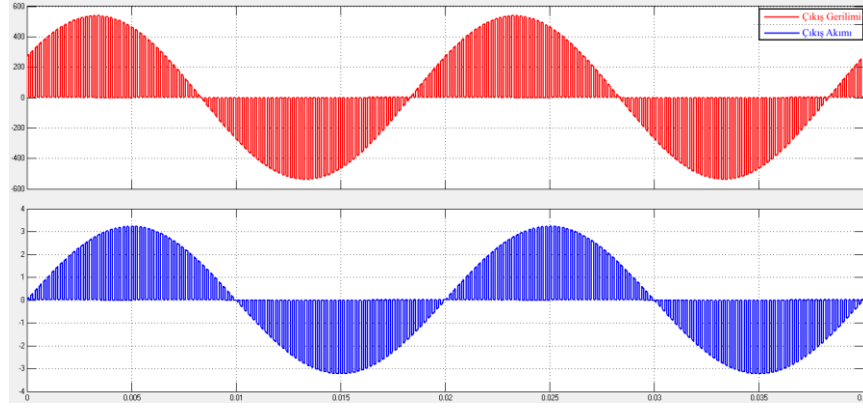
Şekil 3.77 : Yükleme koşulu 23 aktif anahtarlar $D=\%50$.

3.2.2.6 Yükleme koşulu 24

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

C Sönümleyici: $C_b= 0,1\ \mu\text{F}$

Yük Parametreleri: $R_o=96\ \Omega$ $L_o= 0\text{ mH}$



Şekil 3.78 : Yükleme koşulu 24 aktif anahtarlar $D=50\%$.

3.3 Benzetim Sonuçlarının Yorumlanması

Benzetim yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile DGM AA kıyıcıların çalışma prensipleri ve teknik özelliklerinin birbirleriyle tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Benzetim çalışmalarının çıktıları ile DGM AA kıyıcıların teknik bilgileri çerçevesinde benzetim sonuçları aşağıda listelenmiştir. Elde edilen sonuçlar ile tasarım aşaması için altyapı oluşturulmuştur. Teknik açıdan dikkat edilmesi gereken noktalar tasarımın gerçekleşmesi için kritik değere sahiptir. Sonuçlar listelenirken şekil numaraları ve yükleme koşul numaraları referans olarak gösterilmiştir.

1. DGM AA kıyıcıların çıkışı endüktif yük olduğu durumlarda, çıkış geriliminde gerilim darbeleri görülmektedir. Ölü zaman durumunda ve süresince, çıkış gerilimi üzerinde anlık gerilim darbeleri görülmektedir. Benzetim testlerinin çoğunda olan bu etki, Şekil 3.12’de çıkış gerilimdeki gerilim darbeleri olarak görülmektedir.
2. DGM AA kıyıcıların yük açısının daha büyük ve daha endüktif yüklerde gerilim darbelerinin mertebesi artmaktadır. Yükleme koşulu 1’deki gerilim darbeleri ile endüktif yükü daha fazla olan yükleme koşulu 2’deki darbelerden daha azdır. Şekil 3.12 ve Şekil 3.17’de çıkış gerilimleri ve darbeleri görülmektedir.
3. DGM AA kıyıcıların çıkış akımının dalga şekli yükün endüktiflik mertebesine göre değişmektedir. Sadece omik yük altında, çıkış akımı ile çıkış gerilimi aynı dalga şekline sahip olmaktadır. Yükleme koşulu 3’te sadece omik yük altında çıkış grafikleri gösterilmiştir. Endüktif yük arttıkça çıkış akım grafiği daha çok sinüzoidal olmaktadır. Şekil 3.12’de endüktif yük altında çıkış akımının grafiği

ile Şekil 3.17’de yük açısının daha yüksek olan yükün çıkış akımı karşılaştırılarak bu sonuç gözlemlenmektedir.

4. DGM AA kıyıcıların çıkış akımının dalga şekli doluluk oranının artması ile sinüzoidal şekile daha çok yaklaşmaktadır. Şekil 3.13’te aktif anahtarların doluluk oranı %50 iken, Şekil 3.12’te aktif anahtarların doluluk oranı %75’tir. Şekil 3.12’teki çıkış akımı grafiği sinüsoidal şekile daha yakındır.
5. DGM AA kıyıcıların çıkış gerilimindeki darbelerin gerilim mertebesi, frekans ile doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Yüklenme koşulu 1 500 Hz anahtarlama frekansı ile yüklenme koşulu 4 ise 5000 Hz ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12 ve Şekil 3.24’te gösterilen çıkış gerilimi grafiklerinde gerilim darbeleri görülmektedir.
6. DGM AA kıyıcıların çıkış akımının dalga şekli frekans arttıkça sinüzoidal dalga şekline daha çok yaklaşmaktadır. Özellikle anahtarlamanın çok yükseldiği zamanlarda çıkış akımının grafiği saf sinüse benzemektedir. Yüklenme koşulu 1 500 Hz ve yüklenme koşulu 2 5000 Hz gerçekleştirilmiş ve çıkış akım grafikleri bu sonucu doğrulamaktadır. Şekil 3.12 ve Şekil 3.24’te gösterilen çıkış akımı grafikleri gösterilmiştir.
7. Tek fazlı DGM AA kıyıcılar içerisinde AA sönümleyicili ve DA sönümleyicili benzetimlerin karşılaştırıldığında, AA sönümleyicili DGM AA kıyıcıların çıkış gerilimleri darbeleri iken, DA sönümleyicili DGM AA kıyıcıların çıkış gerilimlerinde gerilim darbeleri gözlenmemiştir. AA sönümleyicili kıyıcılar yüklenme koşulu 1-6’da ve DA sönümleyicili kıyıcılar yüklenme koşulu 7-12’de gösterilmişlerdir.
8. Üç fazlı DGM AA kıyıcılar içerisinde AA sönümleyicili ve DA sönümleyicili benzetimleri karşılaştırıldığında, AA sönümleyicili DGM AA kıyıcıların çıkış gerilimleri darbeleri iken, DA sönümleyicili DGM AA kıyıcıların da çıkış gerilimlerinde gerilim darbeleri bulunmakta fakat mertebesinin daha düşük ve zayıf olduğu gözlenmiştir. AA sönümleyicili kıyıcılar yüklenme koşulu 13-18’de ve DA sönümleyicili kıyıcılar yüklenme koşulu 19-24’te gösterilmişlerdir.

4. SİSTEM TASARIMI VE DENEYSEL SONUÇLAR

DGM AA kıyıcıların çalışma durumları göz önüne alındığında anahtarlama fonksiyonlarında hatalar ciddi kısa devre durumlarına ve yüksek genlikli darbe gerilimlerine sebep olmaktadır. Tasarım yapılırken hem donanımsal hem de yazılımsal olarak karşılaşılabilecek engellerin iyi kestirilmesi gerekir.

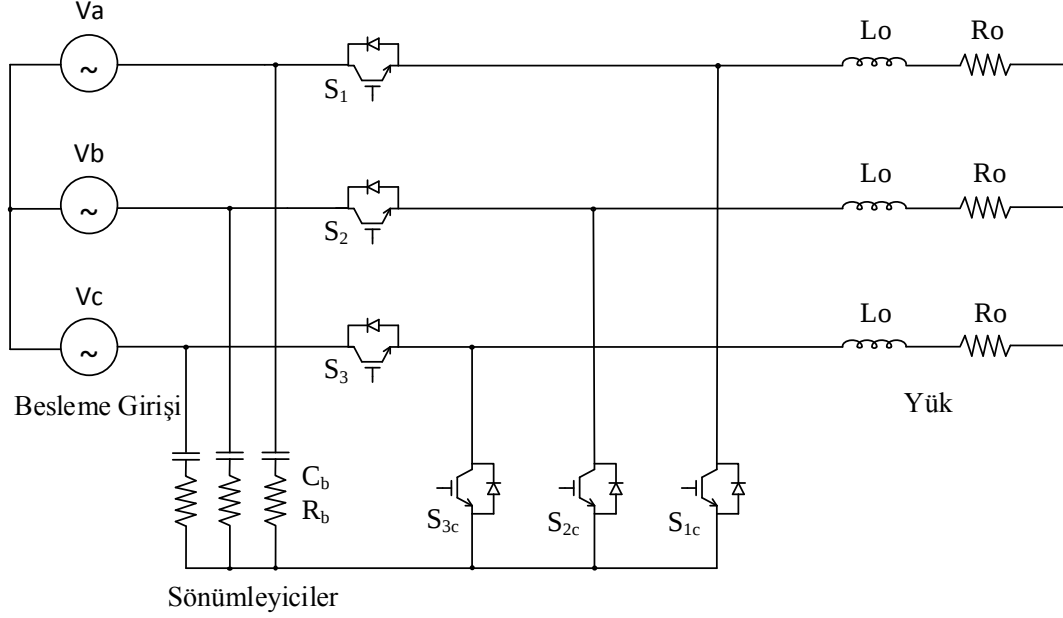
Sistem tasarımı, yazılım ve donanım tasarımı olmak üzere iki ana başlık altında toplanmıştır. Donanım tasarımında, yarı iletken malzeme seçimleri, ihtiyaç duyulan elektronik elemanlar ve elektronik kart tasarımının teknik detayları açıklanmaktadır. Yazılım tasarımı başlığında, DGM AA kıyıcı için gerekli olan anahtarlama fonksiyonlarını elde etmek için çalışma kapsamında kullanılan yazılım ve mikrodenetleyici irdelenmektedir.

Tasarımlara dair sonuçlar tek fazlı ve üç fazlı DGM AA kıyıcılar için ayrı ayrı incelenmiştir. Deneysel sonuçlarda DGM AA kıyıcıların farklı devre yapıları ve komutasyon yöntemlerinin başarımı araştırılmıştır.

4.1 Donanım Tasarımı

Donanım tasarımının ilk aşaması, çalışılması düşünülen devre yapılarının belirlenmesidir. DGM AA kıyıcıların devre yapıları düşünüldüğünde, üç fazlı devrelerin tek fazlı yapıya ilave anahtarlama elemanı ve komutasyon hücresi eklenerek elde edildiği gözlenmektedir [14]. Böylelikle üç fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısına göre donanım tasarımı gerçekleştirilerek sistem ayrıca tek fazlı DGM AA kıyıcı olarak da kullanılmıştır. Devre yapısı olarak belirlenen üç fazlı devre Şekil 4.1’de görülmektedir. Üç fazlı besleme girişi, altı adet herbir faz için tersli çalışan anahtar grupları, sönümlendirme elemanları (C_b ve R_b) ve yük çıkışları görülmektedir.

Devre yapısının belirlenmesinden sonra ihtiyaç duyulan güç gereksinimine göre devre elemanları boyutlandırılıp baskılı devre tasarımı yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı devre topolojisi.

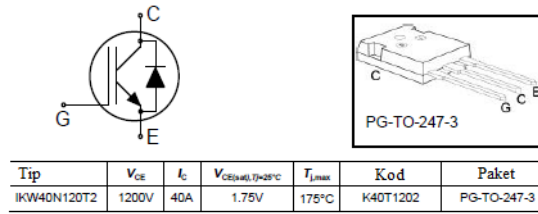
4.1.1 Elektronik malzeme seçimi

Belirlenmesi gereken elektronik malzemeler anahtarlama elemanları, anahtar sürücüler ve kontrolör devreleridir. Malzemelerin teknik özellikleri ve nasıl seçildikleri ifade edilmiştir.

4.1.1.1 Anahtarlama elemanı

Anahtarlama elemanı seçilirken önemli parametreler şunlardır; nominal gerilim, nominal akım, kısa devre dayanım süresi, anahtarlama karakteristikleri, ısınma karakteristikleri ve maliyetleridir. DGM AA kıyıcıların çalışma gerilimleri düşünüldüğünde, üç fazlı besleme, yük gerilimi ve ölü zaman durumlarındaki gerilim darbeleri ön plana çıkmaktadır. Akım değeri yük tarafında çalışması planlanan güç değerine göre belirlenmektedir. DGM AA kıyıcı tasarımlarında yüksek gerilimler ile çalışılması ve anahtarlama hatalarının kısa devre durumlarına sebep olmasından dolayı güvenli çalışma ve tasarımı kolaylaştırması için anahtarların kısa devre dayanımlarının nispeten uzun süreli olması gerekmektedir. Anahtarlama karakteristikleri sürücünün seçilmesi ve maksimum anahtarlama frekansının belirlenmesinde rol almaktadır. Isınma karakteristiklerine göre soğutucu ihtiyacı belirlenmektedir. Fiyat ve stok durumları ise devre tasarımında elemanlara ulaşabilmeyi ve uygulayabilmek için önemli kriterlerindendir.

Anahtarlama elemanı için açıklanan özellikler göz önüne alındığında, sert çalışma şartlarına dayanıklı, yüksek gerilimlere dayanıklı bir elemana ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Yarı iletken anahtarlama elemanlara bu özelliklere en uygun olarak IGBT görülmüştür. IKW40N120T2 kodlu istenilen özellikleri sağlayan bir anahtardır. DGM AA kıyıcı devre yapısındaki anahtarlar gibi ters paralel diyotlu yapısı, 1200V çalışma gerilimi, 40A nominal çalışma akımı ve 10 μ s kısa devre dayanım süresi ile sert koşullara dayanıklı bir anahtardır [38]. Şekil 4.2’de anahtarın gösterimi, kılıfı ve temel değerleri gösterilmiştir.



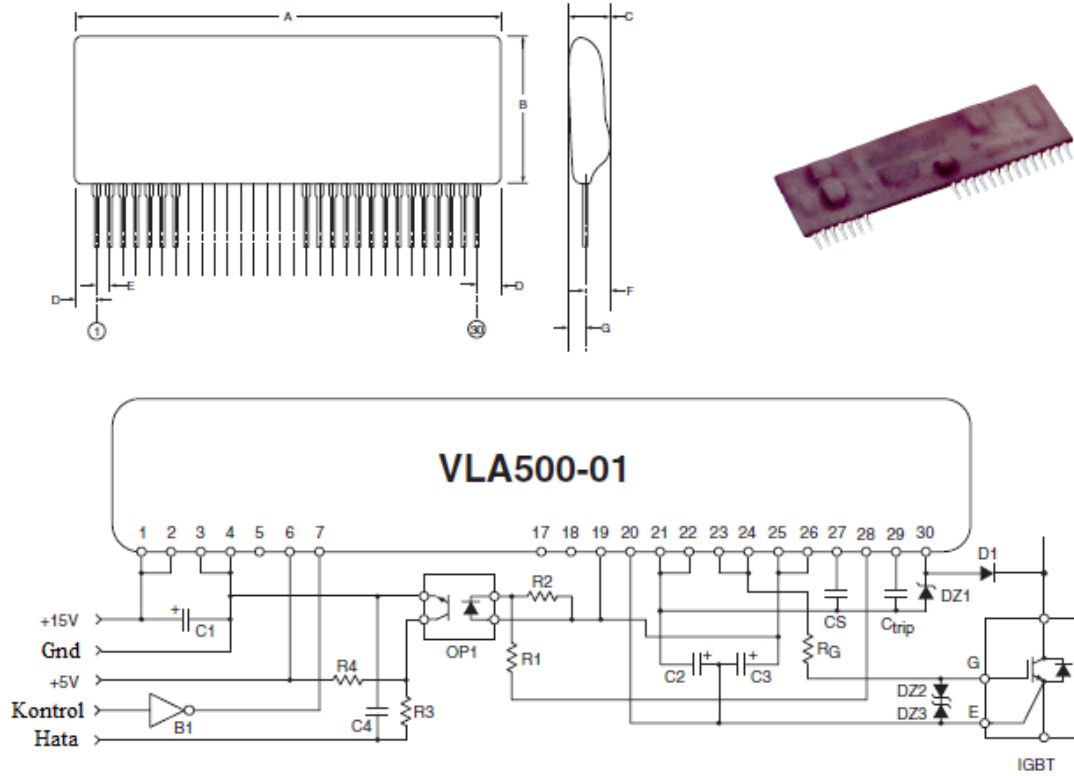
Şekil 4.2 : Seçilen anahtarlama elemanı IGBT’nin gösterimi ve değerleri [38].

4.1.1.2 Anahtar sürücüsü

Anahtarlama elemanı IGBT olarak belirlendikten sonra ona uygun sürücüsü seçilmiştir. Sürücü devresi IGBT kapı gerilimini ve akım değerini sağlayabilmektedir. Anahtarlama elemanının aktif konuma geçirilebilmesi için kapı girişine V_{GE} gerilimi uygulanması gerekmektedir. DGM AA kıyıcı devresindeki anahtarlama elemanlarının yerleşimine bakıldığında “E” (emitter) uçları birbirinden bağımsız olduklarından dolayı sürücüler izoleli güç kaynağı bağlantısına sahiptir. Ayrıca sürücü devresinin anahtarlama frekansı ve kontrol girişi önemli bir konudur. DGM AA kıyıcı devresinde kısa devre durumları ve gerilim darbelerinden sürücünün etkilenmemesi ve koruma özelliğinin olması gerekir.

Anahtarlama sürücüsü ve IGBT sürücünün aranan özellikleri göz önüne alındığında, seçilen IGBT’ler ile uyumlu, sert koşullara dayanıklı, giriş sinyali ve beslemesinden izoleli bir sürücü seçilmiştir. VLA500-01R kodlu IGBT sürücüsü aranan özellikleri sağlamaktadır. İçinde kendi izoleli güç kaynağı bulunan, giriş sinyali izoleli, IGBT’leri kısa devre durumundan koruma özelliği, 20 kHz’e kadar anahtarlama frekansı ve sağlam yapısı ile aranan özellikleri sağlamaktadır. Ayrıca sürücü çıkışı ucunca aktif iken +17V ve kapalı iken -10V vererek IGBT’lerin hızlı devreye girme ve çıkmasını

sağlamaktadır [39]. Şekil 4.3’de sürücü görüntüsü, teknik çizimi ve uygulama devresi görülmektedir.



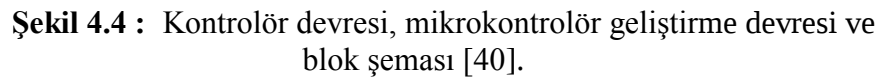
Şekil 4.3 : IGBT Sürücüsü gösterimi, teknik çizimi ve uygulama devresi [39].

4.1.1.3 Kontrolör devresi

Kontrolör devresi DGM AA kıyıcı için gerekli olan anahtarlama fonksiyonları ve DGM işaretlerini üretebilecek teknik yeterlilikte seçilmiştir. Kontrolör devresinin işlemci hızı fazla ve DGM özellikleri yeterince hassas çözünürlüktedir. Şekil 4.1’de verilen devre yapısında altı adet anahtarlama elamanı görülmekte ve herbir anahtar için bağımsız DGM üretebilecek kapasiteye sahip bir mikrokontrolör kullanılmıştır. Ayrıca DGM AA kıyıcılar için anlatılan komutasyon yöntemlerin gerçekleştirilmesi için giriş geriliminin değerinin okumasını yapabilen ve ona göre sinyal üretebilen bir kontrolördür.

DGM AA kıyıcı tasarımı için ihtiyaç duyulan teknik ihtiyaçlar doğrultusunda Texas Instruments firmasının TMS320F28027 kodlu mikrokontrolörü kullanılmak üzere seçilmiştir. Kontrolör devresi olarak bu mikrokontrolörün geliştirme kartı kullanılmıştır. Çalışma frekansı 60 MHz, yüksek çözünürlüklü 8 adet DGM kanalı, 12

A red Raspberry Pi Zero W board is shown, featuring a camera module, a USB drive, and an antenna. The board is populated with various electronic components, including a microcontroller, memory, and connectors. The text "Raspberry Pi" and "Zero W" are visible on the board.



Baskılı devre tasarımı Şekil 4.1’de verilen devre yapısı ve seçilen elektronik malzemelerin birleştirilmesi ile başlamaktadır. Baskılı devre çizim programları ile öncelikle tasarımların şematik çizimleri yapılmıştır. Şekil 4.5’te IGBT, sürücü ve mikrokontrolörün oluşturulmuş şematikleri görülmektedir.



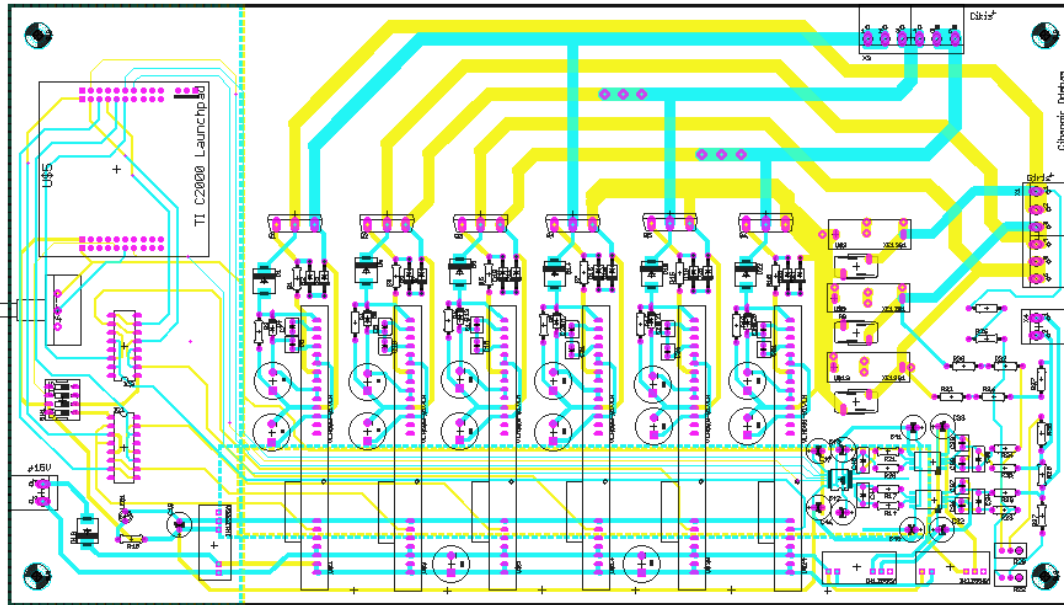
(b)

Üç fazlı DGM AA kıyıcı devresini oluşturan anahtarlama elemanları, sürücüleri ve kontrolör bağlantılarının şematik çizimi yapılmıştır. Bunun için ürünlerin teknik dökümanları detaylı bir şekilde incelenmiş, paket çizimleri eksik ise eklenmiş ve uygulama devrelerinde gösterilen eklenmesi gereken malzemeler ve yapılması gereken bağlantılar şematik çizimlere aktarılmıştır.

Baskılı devre tasarımı gerçekleştirilirken, yapılacak tasarımda kullanıcı hatalarını önlemek adına güvenlik önlemlerine dikkat edilmiştir. Çalışılan gerilim seviyeleri kritik ve yüksek olduğundan, elektronik komponentlerin seçimi ve yerleştirilmesinde azami önem gösterilmiştir.

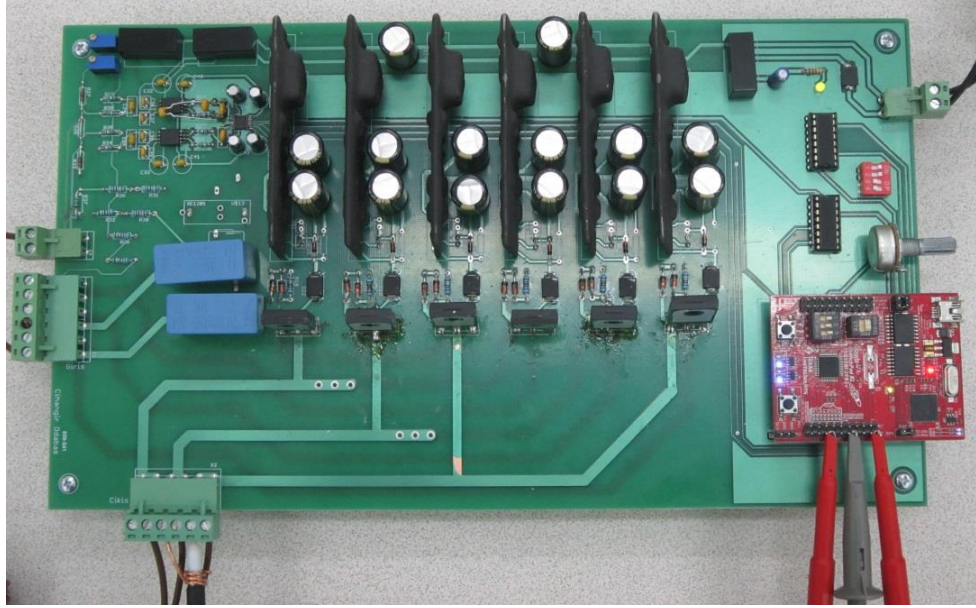
Devre tasarımı içerisinde, üç fazlı besleme girişinin yapıldığı, çıkış gerilimlerinin elde edildiği bağlantı elemanları yeterli izolasyon değerlerine sahiptir ve dokunmaya karşı engelleyicidir. Ayrıca devre tasarımında gerekli güç katlarını oluşturan güç dönüştürücüler ve diğer elektronik malzemeler arasında topraklama hatlarının iyi seçilmesi ve izolasyonlu bölgelerin birbirine karışmamasına dikkat edilmiştir.

Devrenin şematik tasarımı bittikten sonra devre çizimi aşamasına geçilmektedir. Devre çiziminde seçilen ürünlerin kılıflarının düzgünlüğü, izolasyon ve topraklama bölgelerinin iyi ayarlanarak, bağlantı noktaları, yüksek gerilim ve akım taşıyan yolların düzgün planlanarak ve şematiklere sadık kalınarak bağlantılar tamamlanmıştır. Şekil 4.6'da çizimi tamamlanan baskılı devre görüntüsü görülmektedir.



Şekil 4.6 : Baskılı devre tasarımı.

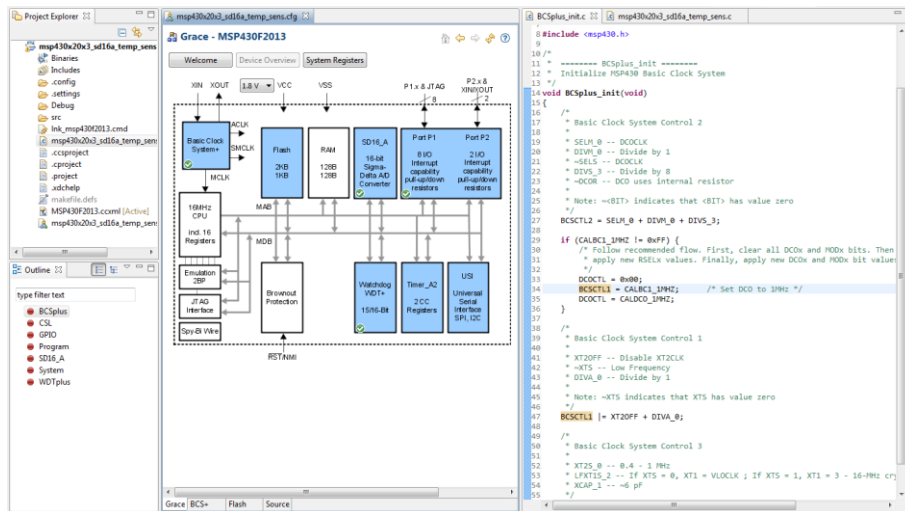
Devre çizimlerinin tamamlanmasının ardında üretim ve elektronik malzemelerin dizim işi yapılmıştır. Baskı devre ile elde edilen tasarım Şekil 4.7’de görülmektedir. Çift taraflı ve kaplamalı baskılı devre ve dizilmiş elektronik malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 4.7 : Gerçeklenen baskılı devre ve donanım tasarımı.

4.2 Yazılım Tasarımı

Yazılım tasarımı için yazılım geliştirme platformuna ihtiyaç duyulmaktadır. Kullanılan mikrokontrolör Texas Instruments’ın bir ürünü olduğundan dolayı, geliştirme platformumu olarak yine kendi ürünleri olan Code Composer Studio (CCS) yazılım geliştirme platformu olarak kullanılmıştır. Şekil 4.8’de geliştirme platformu arayüzünden bir alıntı görülmektedir.

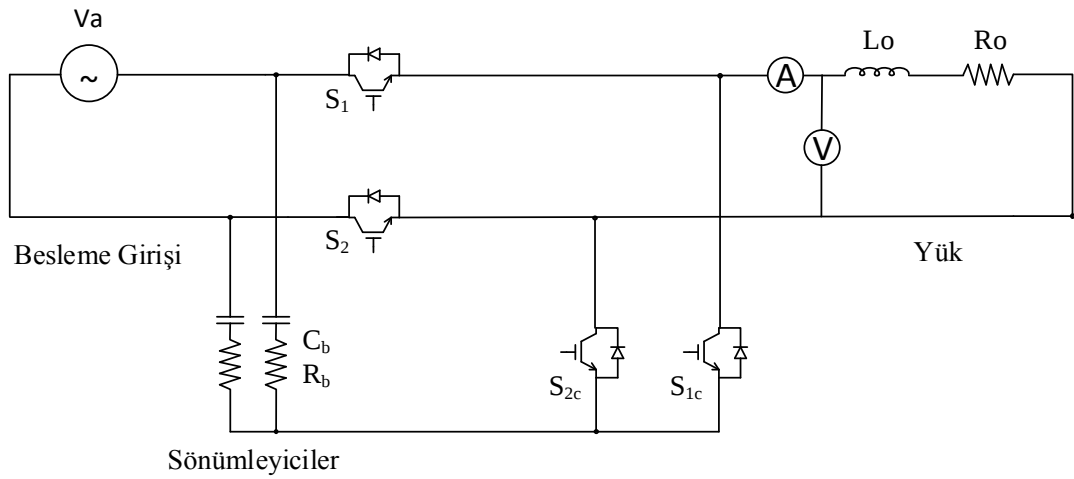


Şekil 4.8 : Yazılım geliştirme platformu CCS.

4.3 Tek Fazlı DGM AA Kıyıcı Deneyi ve Sonuçları

Üç fazlı DGM AA kıyıcının devre yapısının kullanılmasından dolayı, sistem tek fazlı DGM AA kıyıcı olarak da çalıştırılabilmektedir. Şekil 4.10'da tek fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı görülmektedir. Dikkat edilirse Şekil 4.1'deki üç fazlı yapının üzerine, üçüncü fazın ve anahtarlarının kullanılmamasından elde edilmiştir.

Tek fazlı DGM AA kıyıcıların çalışma prensipleri ve teknik bilgileri açıklanırken, tek fazlı kıyıcıları temel iki farklı kontrol ve komutasyon yöntemi olduğu açıklanmıştı. Tek fazlı DGM AA kıyıcı testleri yapılırken bu iki farklı yöntemin testleri de ayrı ele alınacaktır.



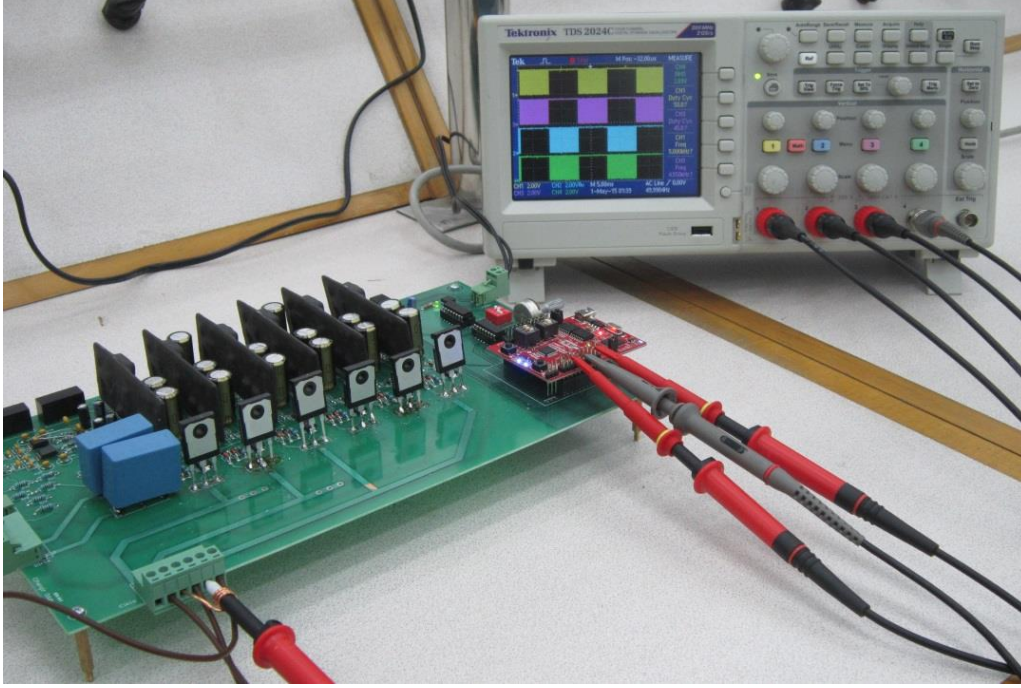
Şekil 4.10 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı ve deney düzeneği.

Yapılan donanım tasarımı sayesinde farklı devre yapıları arasında geçiş yapabilmek mümkündür. Şekil 4.10'da gösterilen sönümleyiciler RC olarak kullanılırsa AA sönümleyici yapı ve C sönümleyici kullanılarak ise DA sönümleyicili DGM AA kıyıcı elde edilebilmektedir.

Geliştirilen yazılım tasarımı sayesinde farklı komutasyon ve kontrol yöntemlerini uygulanmak mümkündür. Yazılım ve donanım içerisinde giriş gerilimlerinin anlık gerilim değerlerini ölçebilen bir yapı mevcuttur. Böylelikle DA sönümleyicili kıyıcı tasarımı için gereken özel kontrol yöntemleri de uygulanabilmektedir.

Tek fazlı DGM AA kıyıcı ve ölçümlerin kaydedildiği, dalga şekillerinin gösterildiği osiloskobun görüntüsü Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Yapılan testlerde elde edilen çıktı

görüntüleri osiloskop üzerinden kaydedilmektedir. Gösterilen çıktıların yan ekran pencerelerinde ölçülen dalga şekillerine dair ölçüm değerleri de gösterilmektedir.



Şekil 4.11 : Tek fazlı DGM AA kıyıcı ve ölçümlerin alındığı osiloskop.

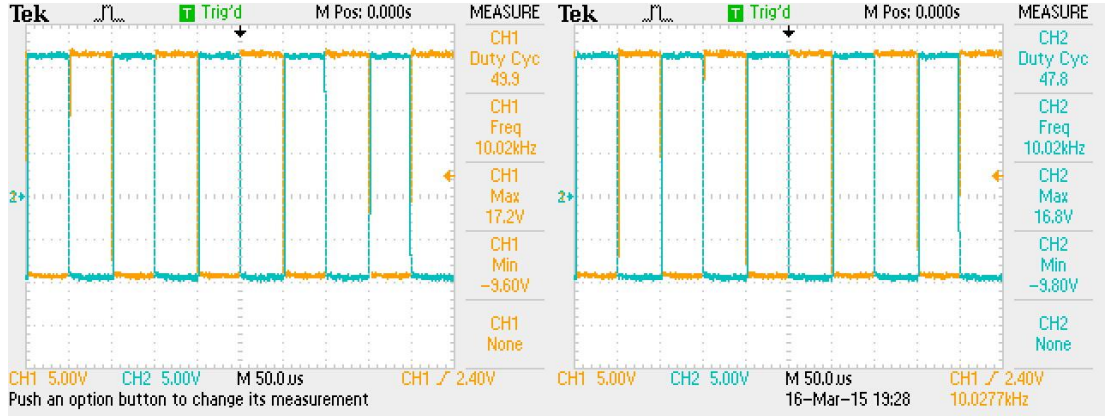
Yapılan deneysel çalışmalarda benzetimlerde de kullanılan yük tipleri, anahtarlama frekansları ve çalışma oranları ile devrenin başarımı incelenmiş ve karşılaştırmalı sonuçlar sunulmuştur.

4.3.1 AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı deneyleri ve sonuçları

AA sönümleyici tek fazlı DGM AA kıyıcı devre şeması ve deney düzeneği Şekil 4.10’da gösterilmiştir. Donanımsal alt yapı AA sönümleyicili devre topolojisine uygun hale getirildikten sonra, yazılımsal değişikliklerin yapılarak anahtarlama işaretleri elde edilmiştir.

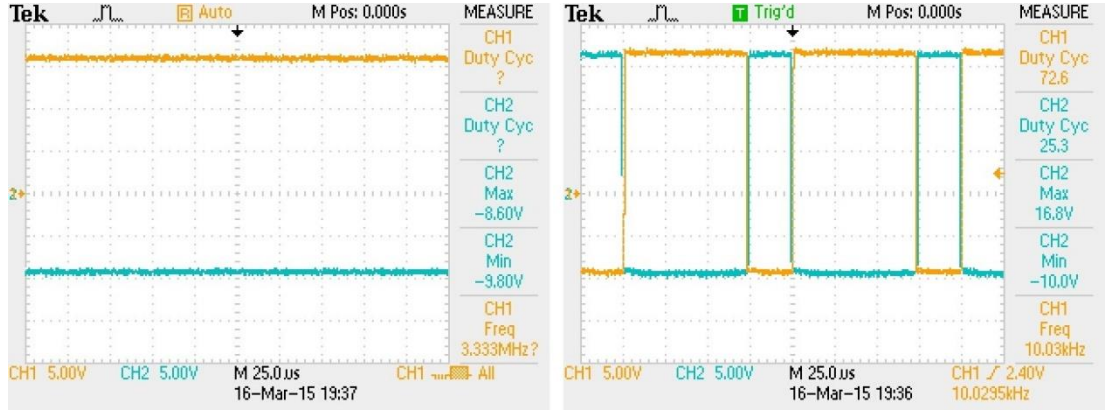
Elde edilen anahtarlama sinyalleri ve ölçüm değerlerinin osiloskop çıktıları sırayla alttaki şekillerde gösterilmektedir. S_1 ve S_2 aktif anahtarlar sarı, S_{1c} ve S_{2c} serbest geçiş anahtarlarının işaretleri mavi ile gösterilmektedir.

Şekil 4.12’de birbirleri ile ters şekilde çalışan, 10 kHz anahtarlama frekansına sahip, en yüksek gerilimleri +17V, en düşük gerilimleri -10V olan, doluluk oranları %50’ye yakın olan işaretler görülmektedir.

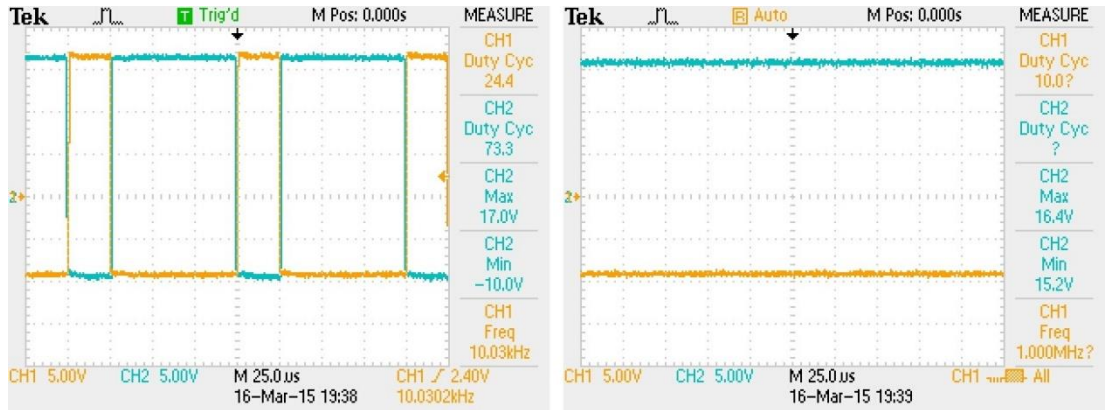


Şekil 4.12 : Aktif (sarı) ve serbest (mavi) geçiş anahtarlama işaretleri.

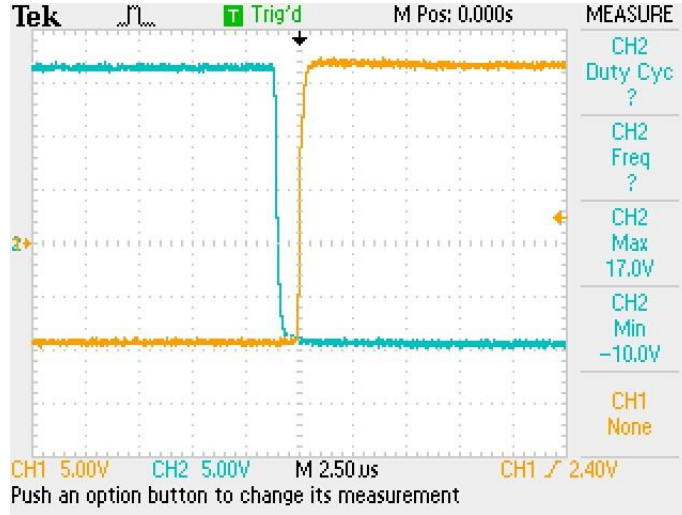
Anahtarlama işaretlerinin farklı doluluk oranları (D) ile gösterilmiştir. DGM AA kıyıcı çalışma durumları olan aktif durum ve serbest geçiş durumu arasında ölü zaman durumu mevcuttur. Şekil 4.15'te verilen anahtarlama fonksiyonlarında 1 µs olarak belirlenen ölü zaman görülmektedir.



Şekil 4.13 : Anahtarlama işaretleri a) aktif anahtarlar D=%100 b) D=%72,6.



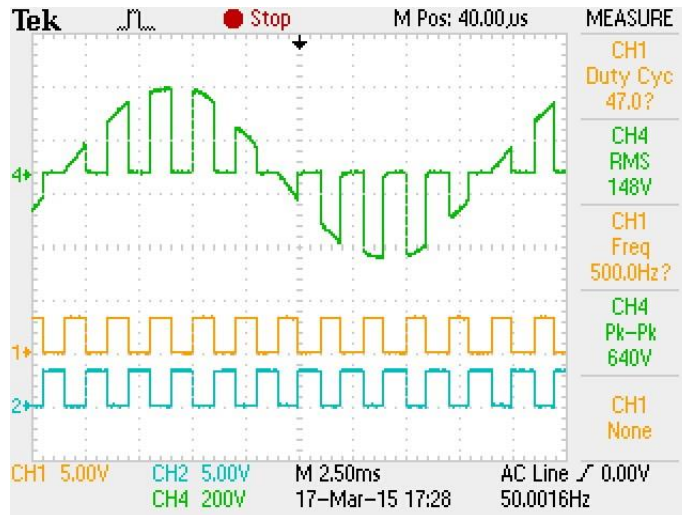
Şekil 4.14 : Anahtarlama işaretleri a) aktif anahtarlar D=%24,4 b) D=%0.



Şekil 4.15 : Ölü zaman durumunun anahtarlama işaretleri üzerinden gösterimi.

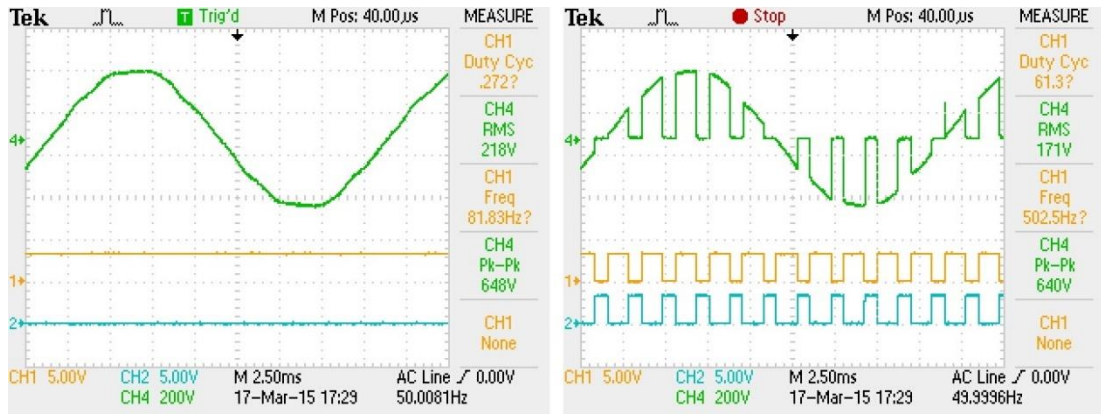
Anahtarlama fonksiyon ve işaretlerinin 10 kHz frekans çalışma frekansına sahip olduğu, alınan ölçümlerden görülmektedir. Deneysel çalışmalar öncelikle daha düşük anahtarlama frekanslarında yapılmıştır. Anahtarlama frekansı başlangıç olarak 500 Hz olarak ayarlanmış ve çıkış gerilimleri gözlenmiştir. Şekil 4.16’de anahtarlama işaretlerine ek olarak çıkış gerilimi de osiloskop ölçümüne dahil edilmiştir. Yeşil renkli (CH4) işaret çıkış geriliminin dalga şeklidir. Sarı sinyal (CH1) aktif anahtarlar ve mavi (CH2) yine serbest geçiş anahtarların işaretidir.

Çıkış gerilimi ve anahtarlama işaretlerine dikkatli bakılırsa, tek fazlı DGM AA kırıyıcının çalışma prensiplerinde gösterilen dalga şekillerine uygun olarak devrenin çalıştığı görülmektedir.

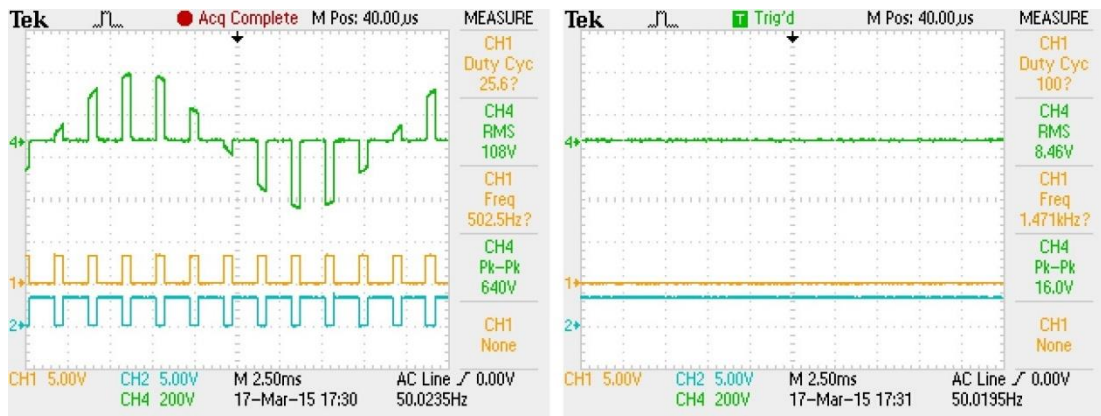


Şekil 4.16 : Çıkış gerilimi ve anahtarlama fonksiyonlarının dalga şekilleri ($f_s = 500$ Hz ve $D=50\%$).

Aktif anahtarların doluluk oranı değiştirilerek ölçümler tekrarlanmıştır.

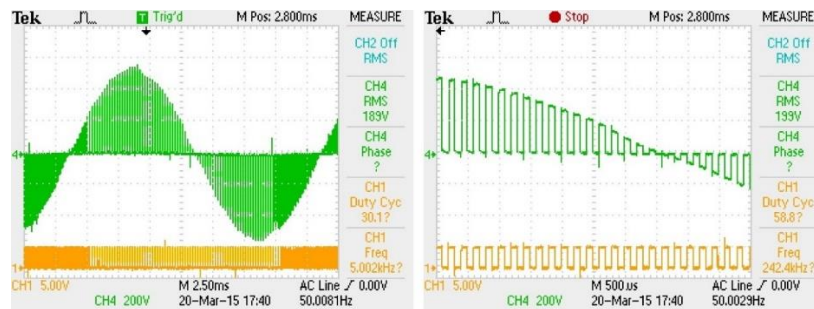


Şekil 4.17 : Çıkış gerilimi ve anahtarlama işaretlerinin dalga şekilleri ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=61.3\%$.



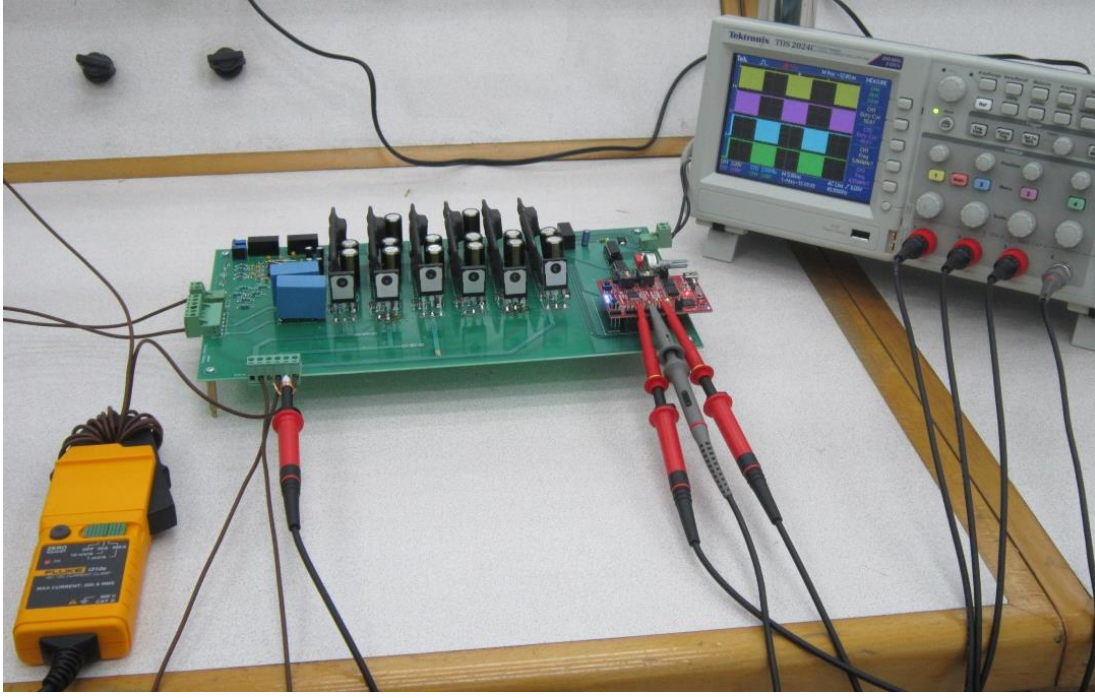
Şekil 4.18 : Çıkış gerilimi ve anahtarlama işaretlerinin dalga şekilleri ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=25.6\%$ b) $D=0\%$.

DGM AA kıyıcının çıkışları kontrol edildikten sonra yüksek frekansta anahtarlama ile çalıştırıldığında çıkış gerilimi nasıl olduğu da kontrol edilmiştir. Şekil 4.19'da 5kHz anahtarlama frekansı ve çıkış geriliminin pozitif yönü görülmektedir. Görüldüğü üzere çıkış dalga şeklinin tam bir periyodunda, dalga şekli çok net okunamamaktadır. Bundan dolayı devre kontrolleri daha düşük frekansta yapılmıştır.



Şekil 4.19 : DGM AA kıyıcı çıkış gerilimi ve aktif anahtar işareti ($f_s=5000$ Hz ve $D=50\%$).

Deneyisel çalışmalarla DGM AA kıyıcının farklı yüklenme koşullarında başarımı araştırılacaktır. Yük testleri için oluşturulan deney düzeneği 4.20’de gösterilmektedir. Şekilde akım ölçme probu ve gerilim ölçme problemleri görülmekte ve ölçüm verilerinin osiloskoba aktarıldığı gösterilmiştir.



Şekil 4.20 : Yük deneyleri için oluşturulan ölçüm düzeneği.

Şekil 4.10’da gösterilen deney düzeneği oluşturulduktan sonra farklı yükler ve anahtarlama frekansları için akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Herbir deneyin ölçümleri yapılırken, o deneye ait devre parametreleri verilmiştir. Böylelikle farklı değerlerin sonuçları nasıl etkilendiği gözlemlenmiştir. Test düzeneğinin giriş gerilimi tek fazlı şebeke girişidir. Sönümleyiciler $R_b=120 \Omega$ ve $C_b=0,1 \mu F$ olarak seçilmiştir. Gerilim ve yük ölçümlerinin yapıldığı noktalar Şekil 4.10’da görülmektedir.

Yük koşulları ve değerleri seçilirken, farklı yük açıları hedeflenmiştir. DGM AA kıyıcıların farklı yük açlarına göre çalışmasında, çıkış işaretlerindeki değişimin gözlemlenmesi planlanmıştır. 1 ve 2 numaralı yükler ile yük açısının etkisi araştırılmıştır. 3 numaralı yük ile sadece direnç tabanlı yükün çalışma durumları incelenmiştir. Deneyisel testlere ait yük değerleri altta sıralanmıştır. Yük değerleri laboratuvar ortamında yük bankaları ile elde edildiklerinden ötürü, değerler seçilirken yük bankalarının özelliklerine dikkat edilmiştir. Yük bankaları Şekil 4.21’de gösterilmektedir.

1. $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $396\angle 14^\circ$
2. $R_o=128 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $230\angle 56,28^\circ$
3. $R_o=128 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $128\angle 0^\circ$.

Deney çıktılarında mavi (CH2) renkli sinyal çıkış akımlarını ve yeşil (CH4) renkli sinyal çıkış gerilimini ölçümlenmektedir. Akımın gerçek değeri, ölçüm probunun 150 mV/A dönüştürme oranı kullanılarak elde edilmektedir. Deney yükleri 500 Hz ve 5000 Hz altında test edilmiştir.

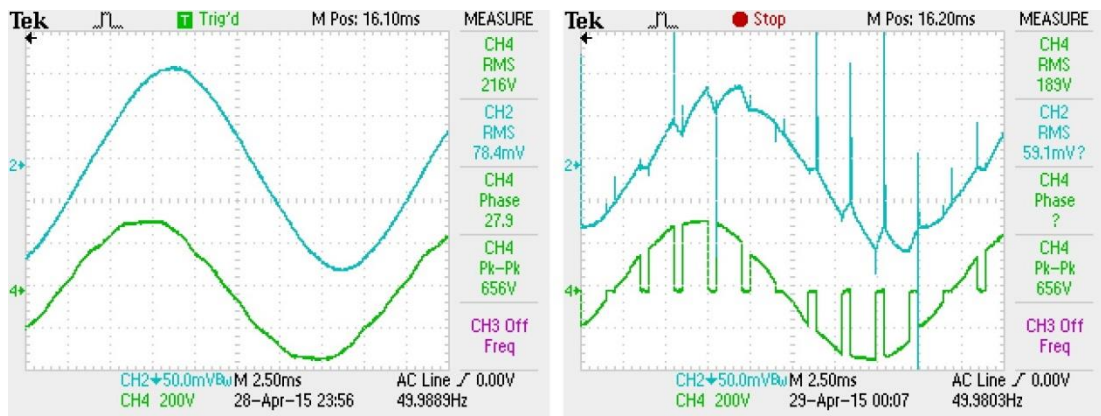


Şekil 4.21 : Deneylerde kullanılan yük bankaları.

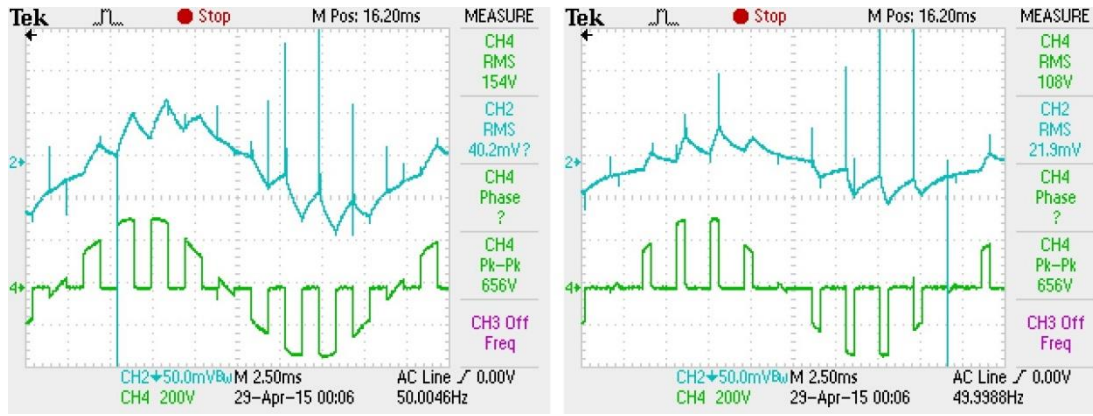
4.3.1.1 Deney 1

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

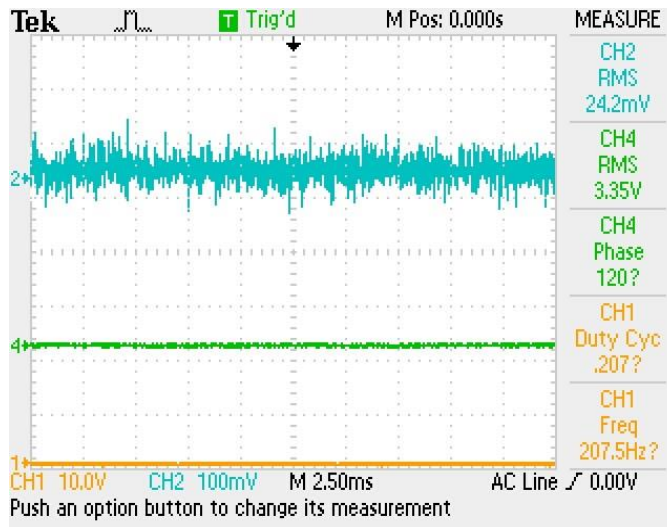
Yük Parametreleri: $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$



Şekil 4.22 : Deney 1 a) aktif anahtarlar D=%100 b) D=%75.



Şekil 4.23 : Deney 1 a) aktif anahtarlar D=%50 b) D=%25.

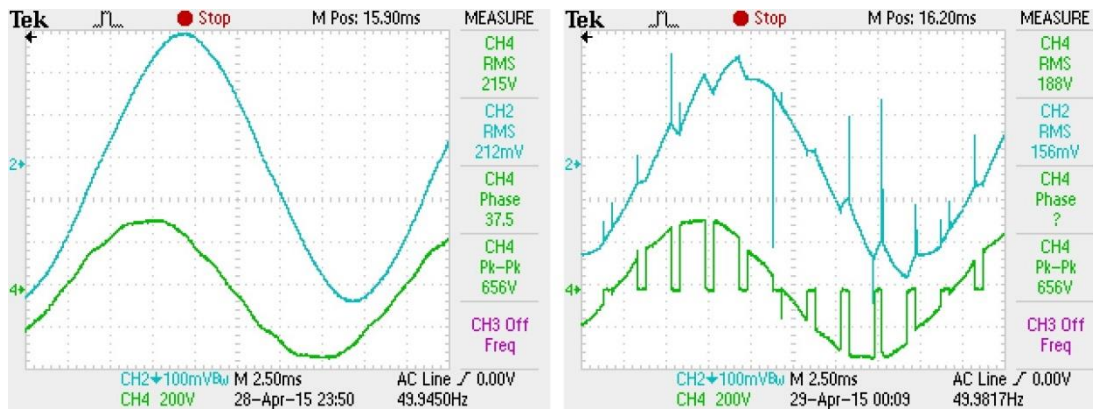


Şekil 4.24 : Deney 1 aktif anahtarlar D=%0.

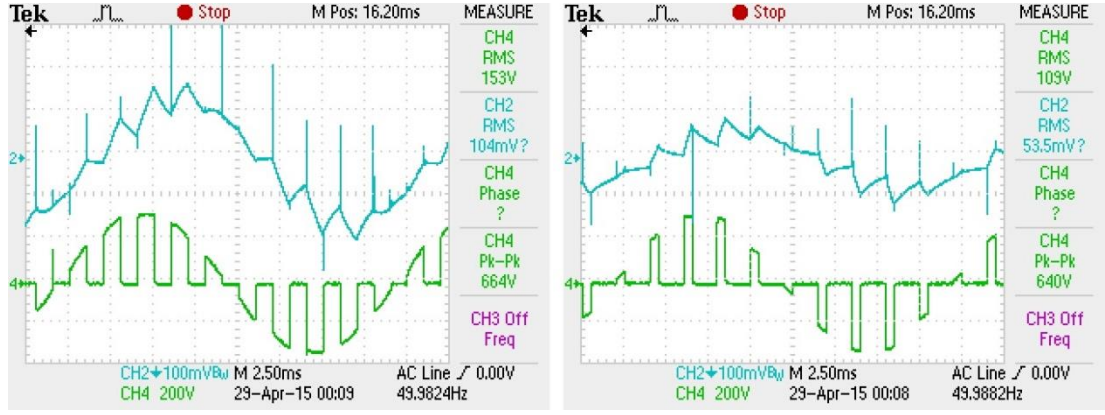
4.3.1.2 Deney 2

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$



Şekil 4.25 : Deney 2 a) aktif anahtarlar D=%100 b) D=%75.



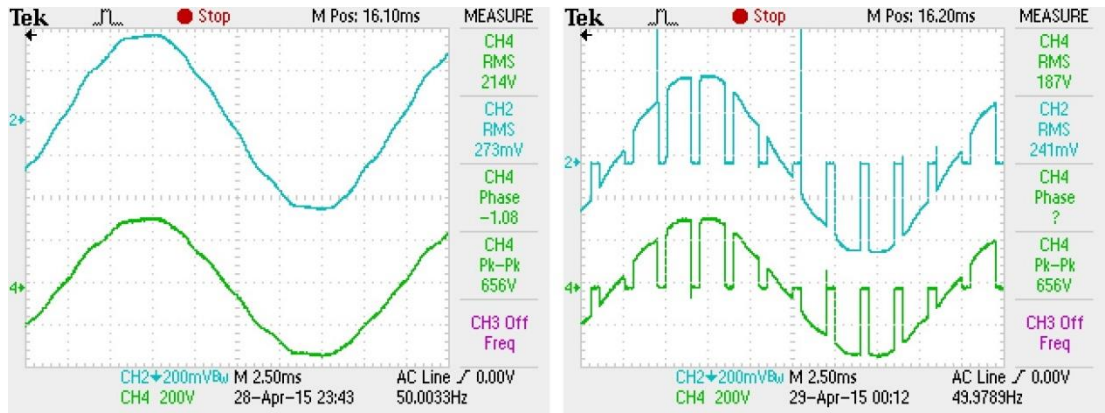
Şekil 4.26 : Deney 2 a) aktif anahtarlar D=%50 b) D=%25.

4.3.1.3 Deney 3

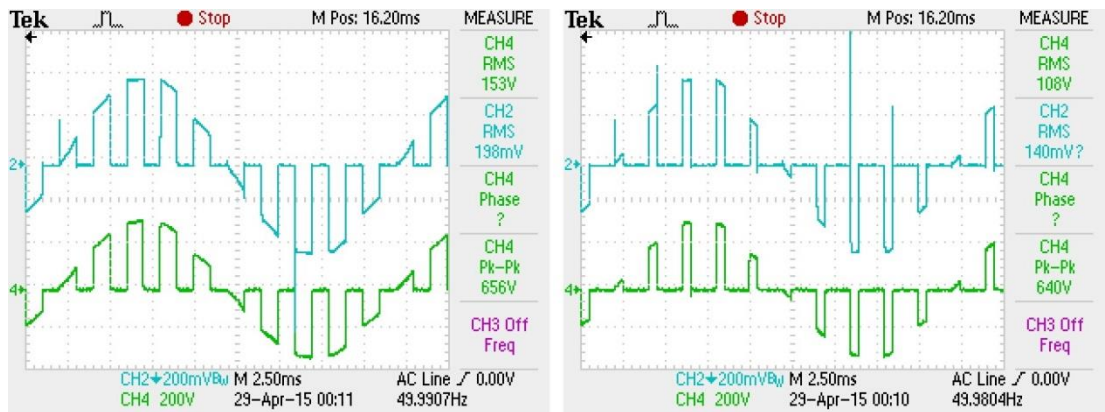
Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128 \Omega$

$L_o = 0 \text{ mH}$



Şekil 4.27 : Deney 3 a) aktif anahtarlar D=%100 b) D=%75.



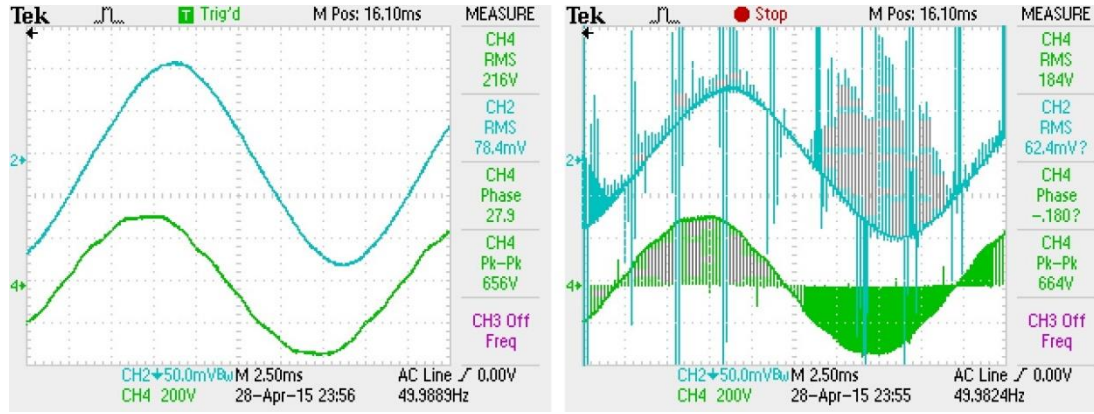
Şekil 4.28 : Deney 3 a) aktif anahtarlar %50 dolu b) D=%25.

4.3.1.4 Deney 4

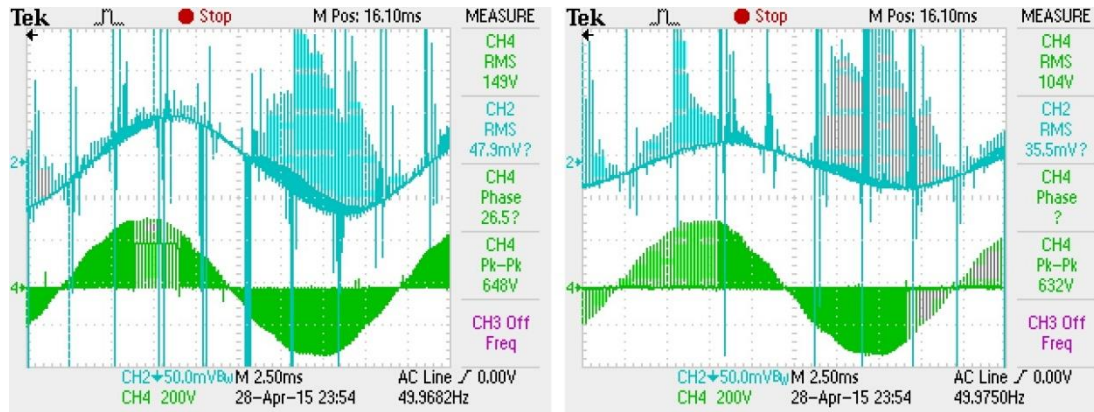
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=384\ \Omega$

$L_o= 305\text{ mH}$



Şekil 4.29 : Deney 4 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.



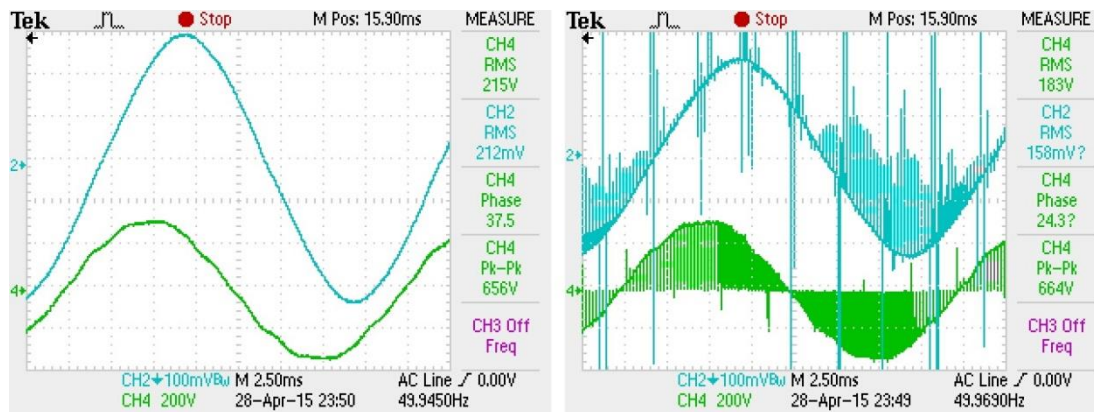
Şekil 4.30 : Deney 4 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

4.3.1.5 Deney 5

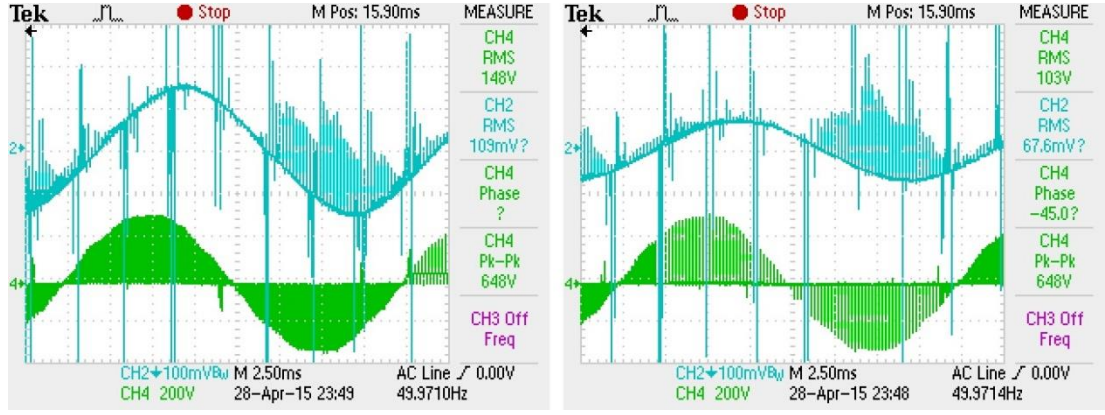
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128\ \Omega$

$L_o= 610\text{ mH}$



Şekil 4.31 : Deney 5 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.



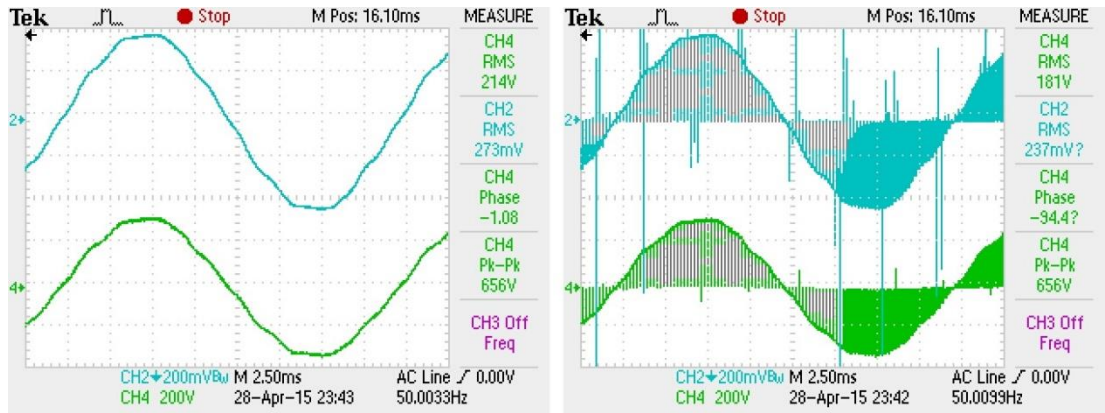
Şekil 4.32 : Deney 5 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

4.3.1.6 Deney 6

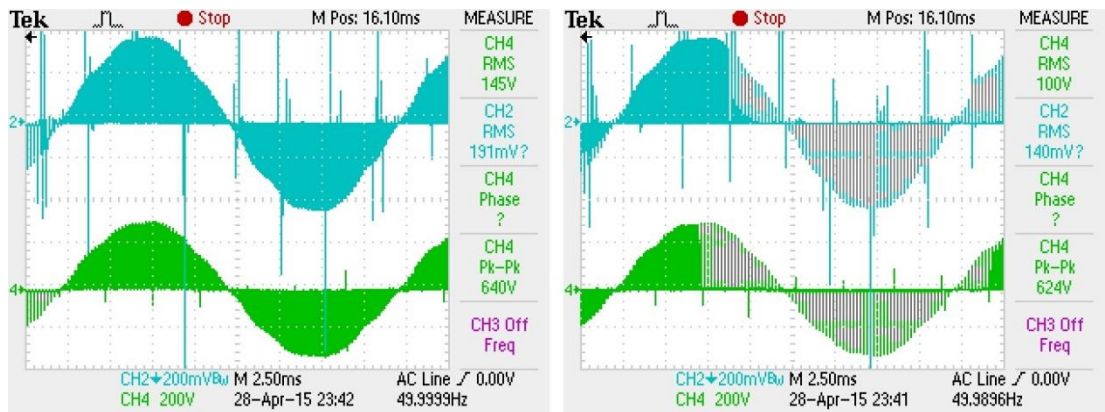
Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128\ \Omega$

$L_o=0\text{ mH}$



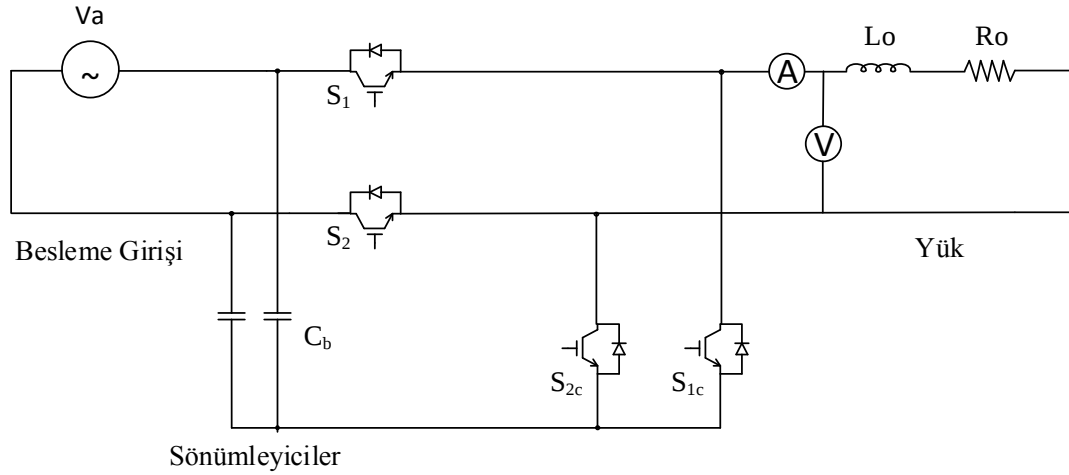
Şekil 4.33 : Deney 6 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.



Şekil 4.34 : Deney 6 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

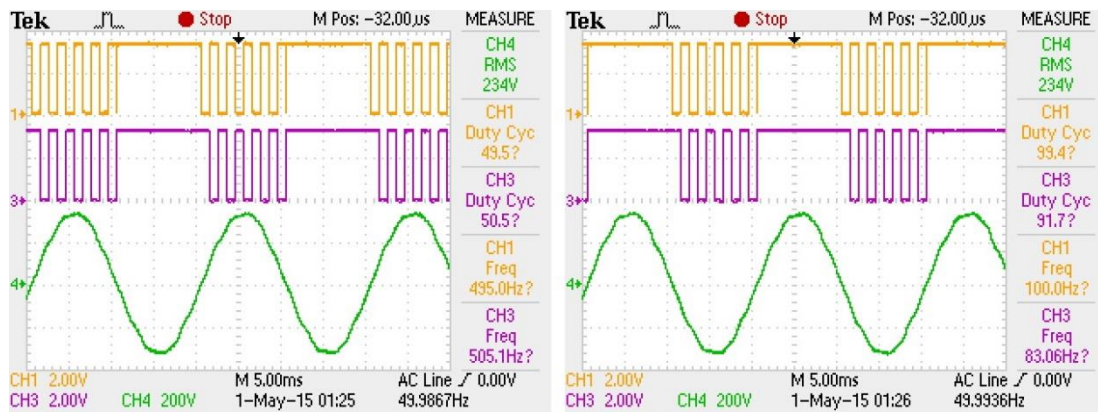
4.3.2 DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı deneyi ve sonuçları

Tek fazlı DGM AA kıyıcılar içerisinde özel komutasyon yöntemine sahip ve DA sönümleyiciler içeren devre yapısı DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcılarıdır. Şekil 4.35'te devre yapısı gösterilen kıyıcının sönümleyicileri sadece C_b kapasitelerinden oluşmaktadır.



Şekil 4.35 : DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı ve deney düzeneği.

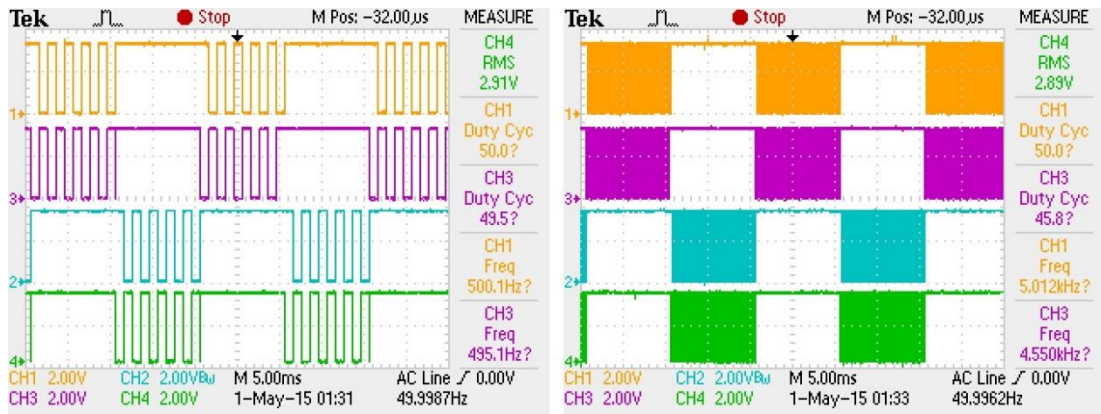
DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcıların kontrol işaretlerinin üretilebilmesi için giriş gerilimi kontrolör devresi tarafından sürekli ölçümlenmektedir. Giriş gerilimin değerine göre üretilen anahtarlama fonksiyonları çalışma prensiplerine uygun olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.36 : DA sönümleyicili tek faz DGM AA kıyıcı anahtarlama fonksiyonları ($f_s=500$ Hz) ve giriş gerilimi a) S_1 - S_{1c} b) S_2 - S_{2c} .

Anahtarlama fonksiyonları şu şekilde sıralanır, giriş gerilimi pozitif olduğu durumda S_1-S_{1c} DGM modülasyonlu ve S_2-S_{2c} sürekli aktif durumdadır. Giriş gerilimi negatif değeri aldığı anda ise S_2-S_{2c} DGM modülasyonlu ve S_1-S_{1c} sürekli aktif durumdadır. Öncelikle devre üzerinde elde edilen anahtarlama fonksiyonları incelenmiştir. Şekil 4.36’de giriş gerilimi ve anahtarlama fonksiyonları gösterilmiştir.

Anahtarlama fonksiyonlarının beraber bulunduğu 500 ve 5000 Hz’lik anahtarlama frekanslarına sahip görüntüsü Şekil 4.37’de görülmektedir.



Şekil 4.37 : DA sönümleyicili tek faz DGM AA kıyıcı anahtarlama fonksiyonları S_1-S_{1c} - S_2-S_{2c} a) $f_s=500$ Hz b) $f_s=5000$ Hz.

Anahtarlama fonksiyonları elde edildikten sonra DA sönümleyicili tek faz DGM AA kıyıcının yüklenme testlerine geçilmiştir. Ölçüm noktalarını gösteren devre yapısı ve deney düzeneği Şekil 4.35’te gösterilmiştir.

Test düzeneğinin giriş gerilimi tek fazlı şebeke girişidir. Sönümleyiciler $C_b=0,1 \mu F$ olarak seçilmiştir. Ölçümlerde aynı yükler kullanıldığından ötürü, DA sönümleyicili devrelerde sadece $D=\%50$ doluluk oranının etkisi gözlemlenmiştir. Deney yükleri şu şekilde sıralanmaktadır;

1. $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305$ mH Yük Empedansı: $396\angle 14^\circ$
2. $R_o=128 \Omega$ $L_o= 610$ mH Yük Empedansı: $230\angle 56,28^\circ$
3. $R_o=128 \Omega$ $L_o= 0$ mH Yük Empedansı: $128\angle 0^\circ$.

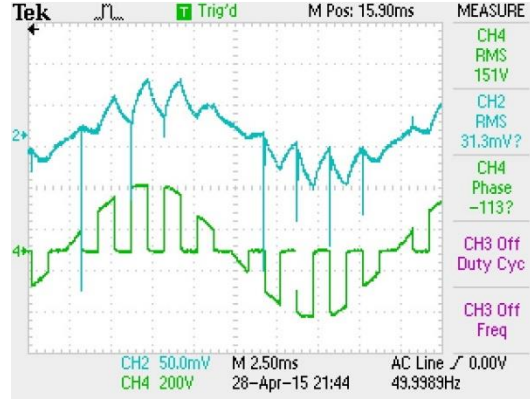
Deney çıktılarında mavi (CH2) renkli sinyal çıkış akımlarını ve yeşil (CH4) renkli sinyal çıkış gerilimini ölçümlenmektedir. Akımın gerçek değeri, ölçüm probunun 150

mV/A dönüştürme oranı kullanılarak elde edilmektedir. Deney yükleri 500 Hz ve 5000 Hz altında test edilmiştir.

4.3.2.1 Deney 7

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$

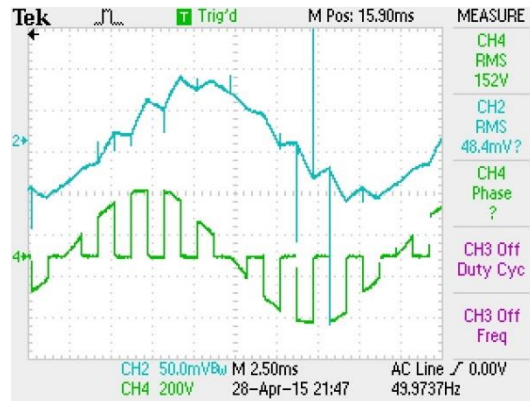


Şekil 4.38 : Deney 7 aktif anahtarlar $D=50\%$.

4.3.2.2 Deney 8

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$

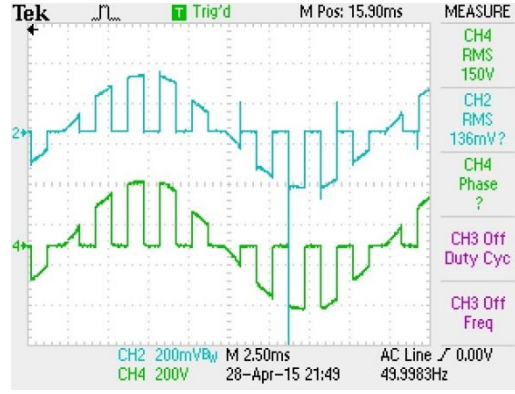


Şekil 4.39 : Deney 8 aktif anahtarlar $D=50\%$.

4.3.2.3 Deney 9

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$

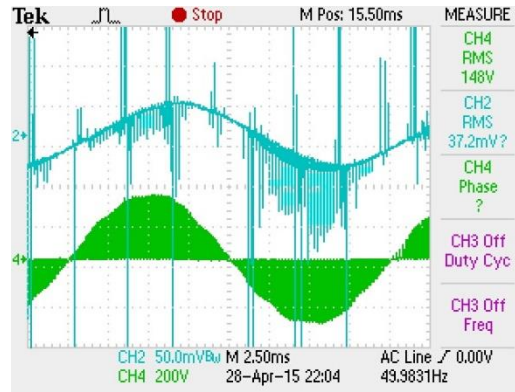


Şekil 4.40 : Deney 9 aktif anahtarlar D=%50.

4.3.2.4 Deney 10

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=384 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$

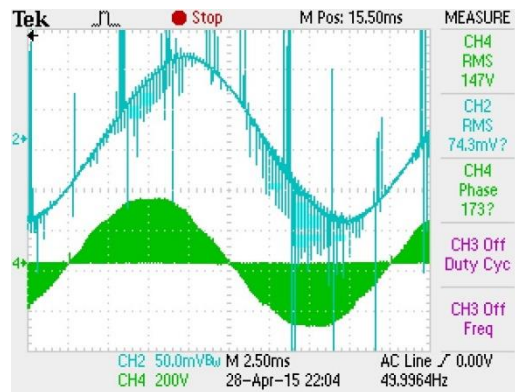


Şekil 4.41 : Deney 10 aktif anahtarlar D=%50.

4.3.2.5 Deney 11

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$

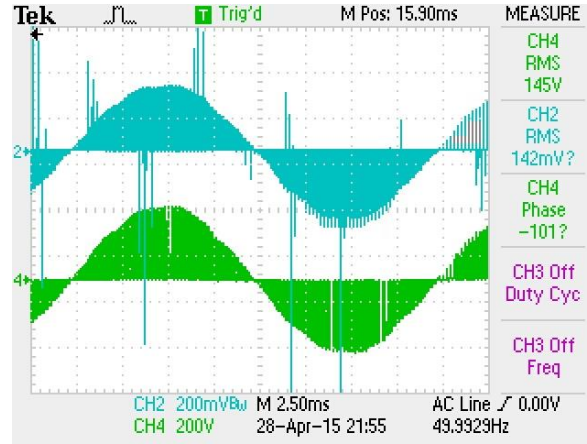


Şekil 4.42 : Deney 11 aktif anahtarlar D=%50.

4.3.2.6 Deney 12

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: $R_o=128 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$



Şekil 4.43 : Deney 12 aktif anahtarlar $D=50\%$.

4.4 Üç Fazlı DGM AA Kıyıcı Deneyi ve Sonuçları

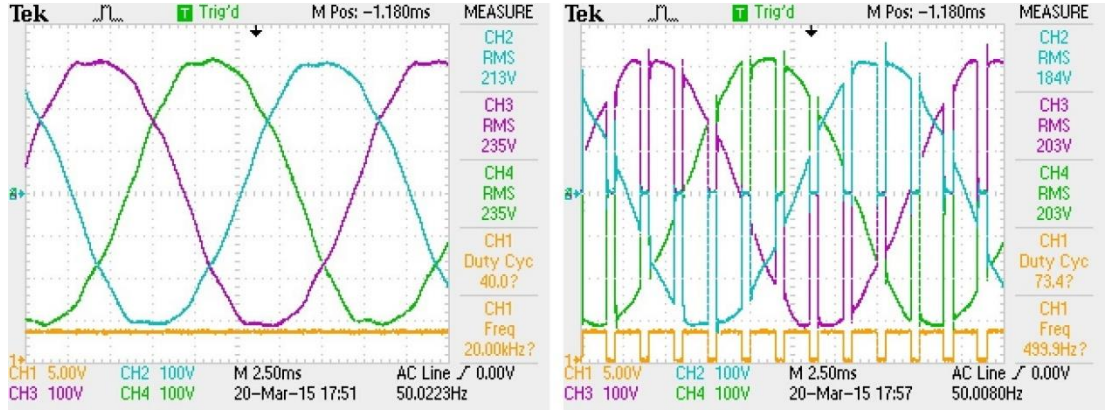
Üç fazlı DGM AA kıyıcıların deneyleri gerçekleştirilmiş ve sonuçları gösterilmiştir. Şekil 4.1’de üç fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı görülmektedir. Devre yapısı verilen kıyıcıya uygun olarak gerçekleştirilen tasarım ile birlikte devrenin başarımı araştırılmıştır. Üç fazlı DGM AA kıyıcının deneyleri AA sönümleyici devre yapısına uygun olarak yapılmıştır.

4.4.1 AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı deneyi ve sonuçları

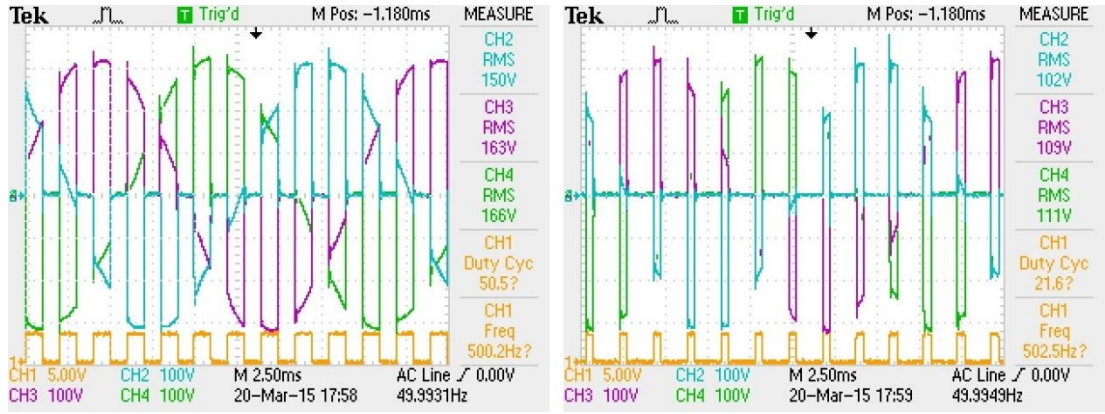
AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcıların çalışma ve kontrol yöntemi geleneksel DGM anahtarlama yöntemiyledir. Devre yapısı ise Şekil 4.1’de görülmektedir.

Tek fazlı DGM AA sönümleyicili sistemler ile kontrol yöntemi aynı olarak çalışan üç fazlı sistemlerin kontrol işaretleri ile detaylı görüntüler Şekil 4.13-16’lerinde verilmiştir. Benzer olarak geleneksel DGM yöntemine sahip üç fazlı DGM AA kıyıcılar için uygun anahtarlama işareti elde edilmiştir.

Şekil 4.44 ve 4.45’de AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcının çıkış gerilimleri 500 Hz anahtarlama frekansı ve farklı doluluk oranları için gösterilmiştir. Üç fazlı çıkış gerilimleri yükün nötr noktasına göre ölçülmüştür.

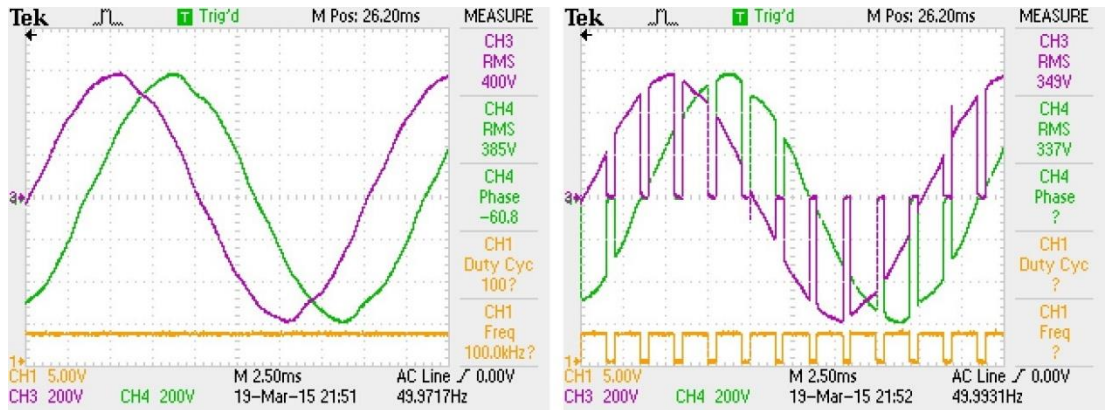


Şekil 4.44 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=73,4$.

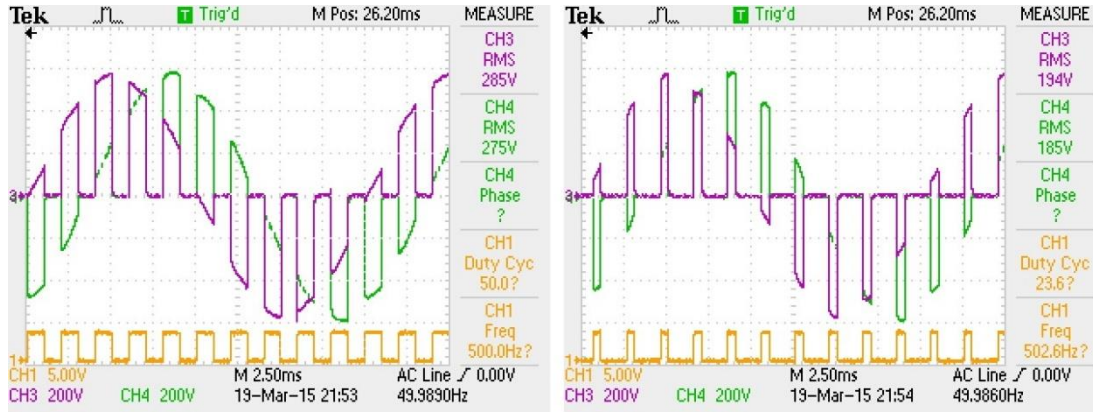


Şekil 4.45 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=50,5$ b) $D=21,6$.

Üç fazlı DGM AA kıyıcının çıkış gerilim grafikleri faz-faz gerilim ölçümleri olarak tekrar edilerek Şekil 4.50 ve 4.51’de gösterilmiştir.

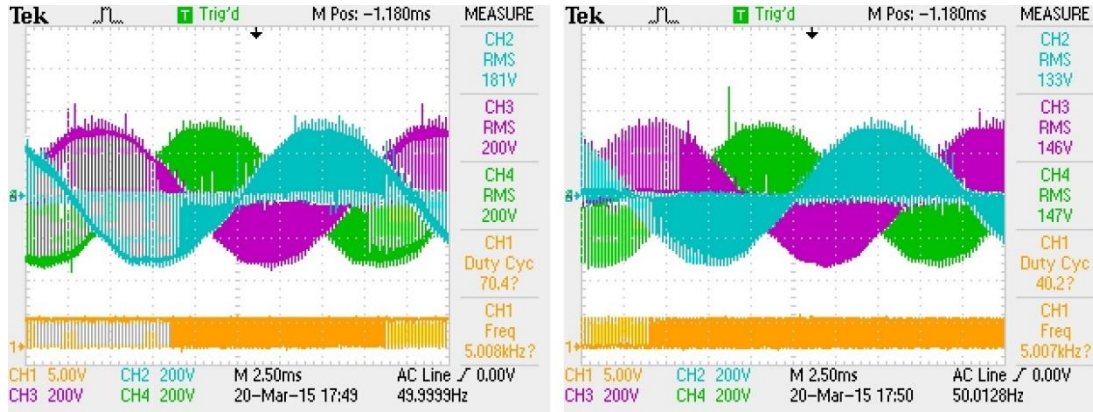


Şekil 4.46 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı faz-faz arası çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=100$ b) $D=75$.



Şekil 4.47 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı faz-faz arası çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=500$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=24\%$.

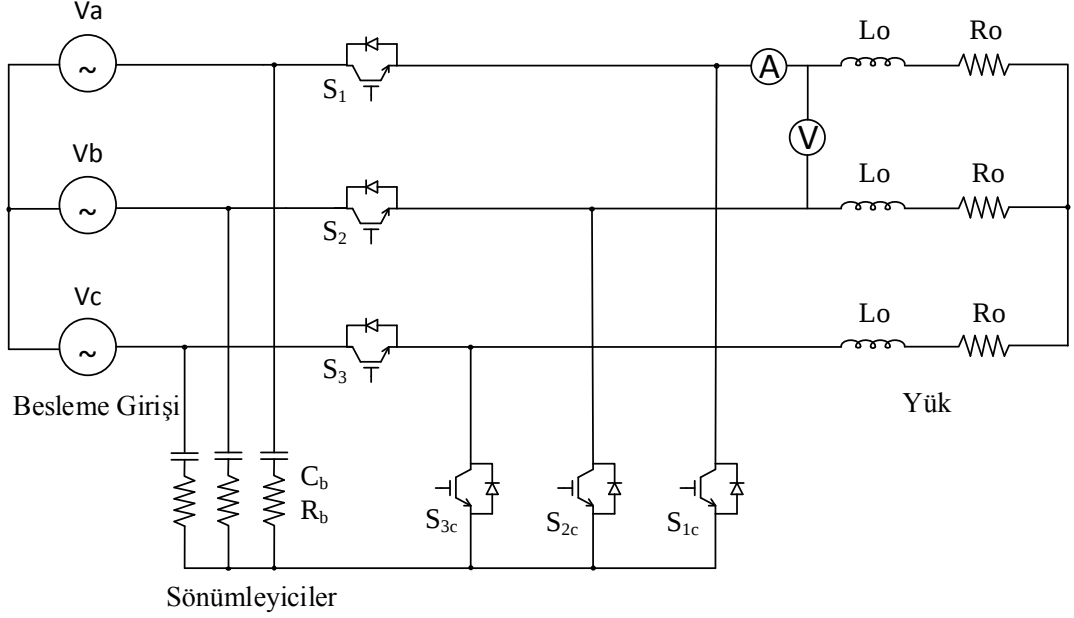
Deneyler daha yüksek anahtarlama frekansları için tekrarlanmıştır. Şekil 4.52’de 5000 Hz anahtarlama frekansı için çıkış gerilimlerinin dalga şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.48 : Üç fazlı DGM AA kıyıcı çıkış gerilimleri ve aktif anahtar işareti ($f_s=5000$ Hz) a) aktif anahtarlar $D=70,4\%$ b) $D=40,2\%$.

Farklı anahtarlama frekanlarında ve doluluk oranında alınan ölçümlerden sonra devrenin yüklenme deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.49’da gösterilmiştir. Deney düzeneği oluşturulduktan sonra farklı yükler ve anahtarlama frekansları için akım ve gerilim ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları ile beraber o deneye ait devre parametreleri de verilmiştir. Böylece farklı devre parametrelerinde tasarımı yapılan topolojinin başarımının incelenmesi mümkün olmuştur.

Şekil 4.49’da gösterilen deney düzeneği ve devre yapısının yük değerleri ve anahtarlama frekansı deney başlıklarında açıklanacaktır. Deney düzeneğinin giriş gerilimi üç fazlı şebeke girişidir. Sönümleyici parametreleri $R_b=120 \Omega$ ve $C_b=0,1 \mu F$ olarak seçilmiştir. Gerilim ve yük ölçümlerinin yapıldığı noktalar şekilde görülmektedir.



Şekil 4.49 : Deney düzeneği ve AA sönümleyicili üç fazlı DGM AA kıyıcı devre yapısı.

Farklı yük koşullarında altında yük akımı ve faz-faz arası çıkış gerilimi incelenmiştir. Yük koşulları ve değerleri seçilirken, farklı yük açıları hedeflenmiştir. DGM AA kıyıcıların farklı yük açılarına göre çalışmasında, çıkış işaretlerindeki değişimin gözlemlenmesi planlanmıştır. 1 ve 2 numaralı yükler ile yük açısının etkisi araştırılmıştır. 3 numaralı yük ile sadece direnç tabanlı yükün çalışma durumları incelenmiştir. Deneysel testlere ait her bir faz için olan yük değerleri altta sıralanmıştır.

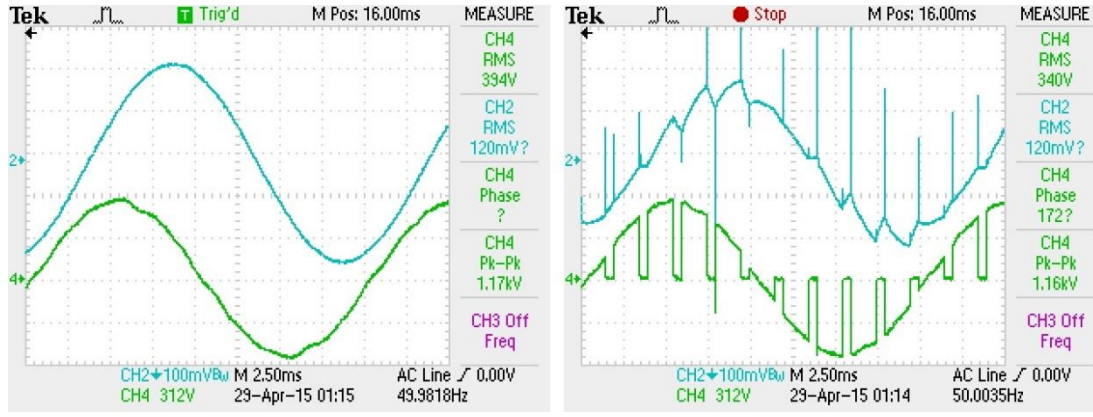
1. $R_o=192 \, \Omega$ $L_o= 305 \, \text{mH}$ Yük Empedansı: $215\angle 26,46^\circ$
2. $R_o=96 \, \Omega$ $L_o= 610 \, \text{mH}$ Yük Empedansı: $214\angle 63,57^\circ$
3. $R_o=96 \, \Omega$ $L_o= 0 \, \text{mH}$ Yük Empedansı: $96\angle 0^\circ$.

Deney çıktılarında mavi (CH2) renkli sinyal çıkış akımlarını ve yeşil (CH4) renkli sinyal çıkış gerilimini ölçümlenmektedir. Akımın gerçek değeri, ölçüm probunun 150 mV/A dönüştürme oranı kullanılarak elde edilmektedir. Deney yükleri 500 Hz ve 5000 Hz altında test edilmiştir.

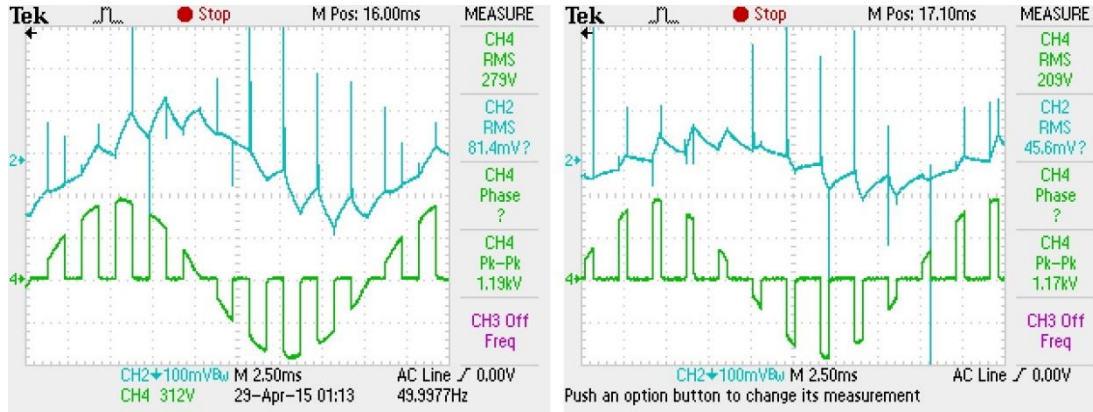
4.4.1.1 Deney 13

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

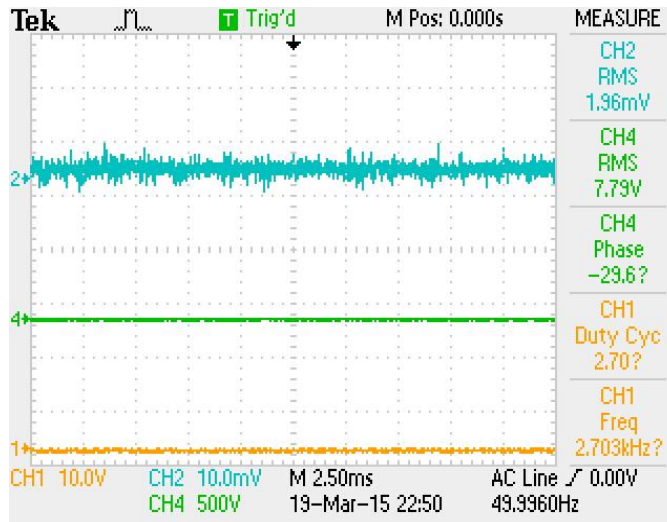
Yük Parametreleri: Her faz için $R_o=192 \, \Omega$ $L_o= 305 \, \text{mH}$



Şekil 4.50 : Deney 13 a) aktif anahtarlar D=%100 b) D=%75.



Şekil 4.51 : Deney 13 a) aktif anahtarlar D=%50 b) D=%25.

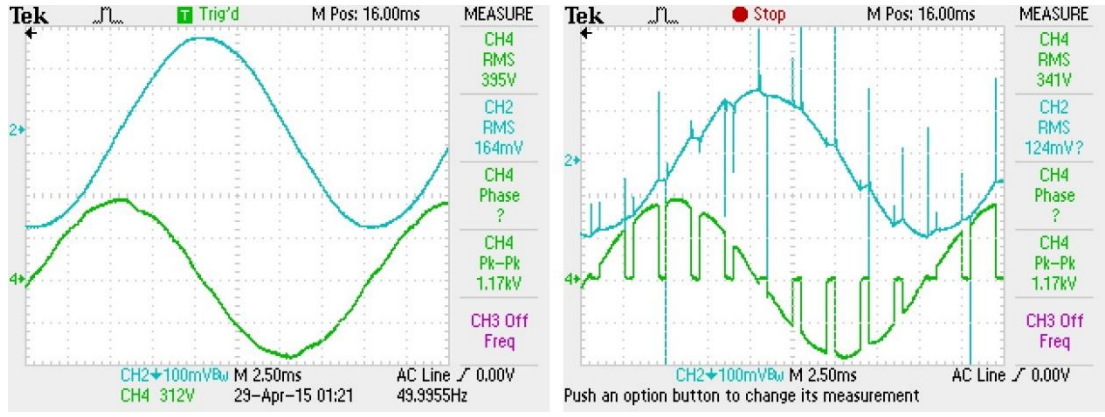


Şekil 4.52 : Deney 13 aktif anahtarlar D=%0.

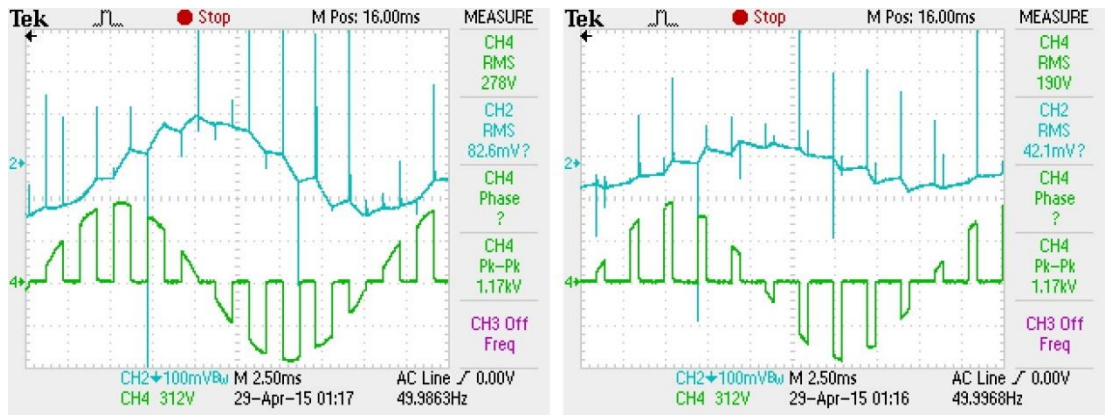
4.4.1.2 Deney 14

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: Her faz için $R_o=96 \Omega$ $L_o= 610 \text{ mH}$



Şekil 4.53 : Deney 14 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.

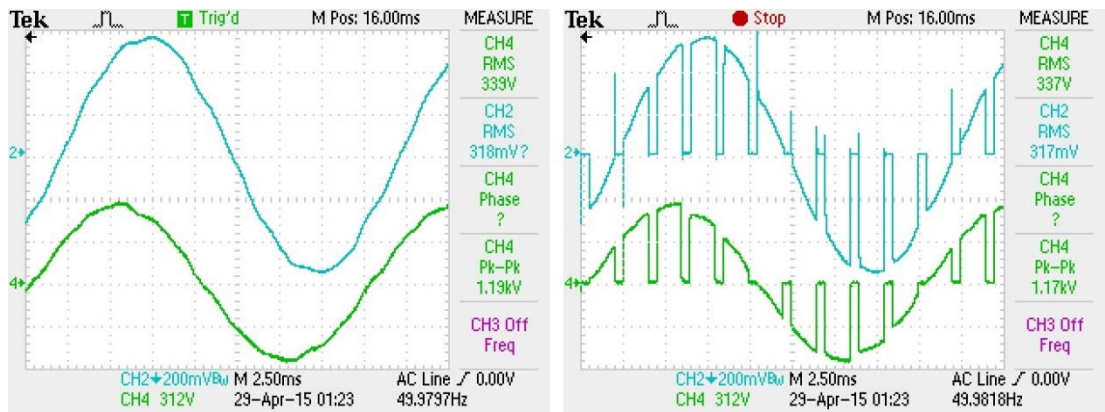


Şekil 4.54 : Deney 14 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

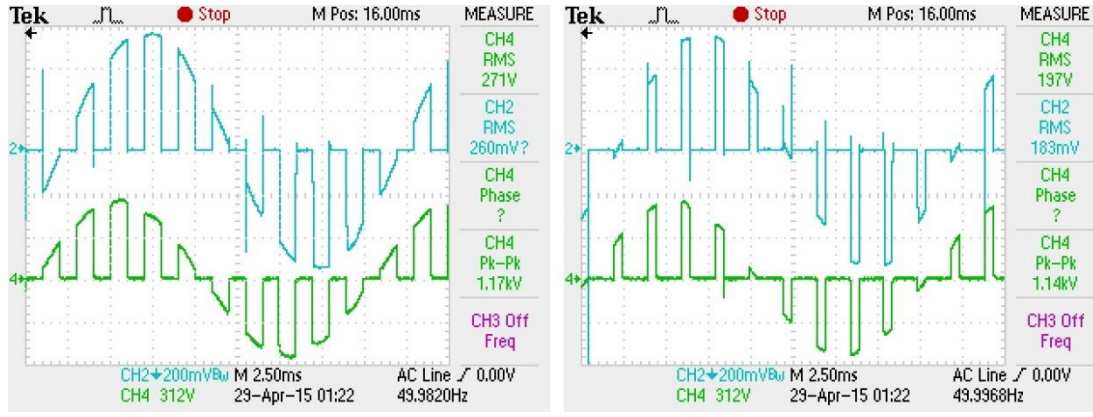
4.4.1.3 Deney 15

Anahtarlama Frekansı: 500 Hz

Yük Parametreleri: Her faz için $R_o=96 \Omega$ $L_o=0 \text{ mH}$



Şekil 4.55 : Deney 15 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.

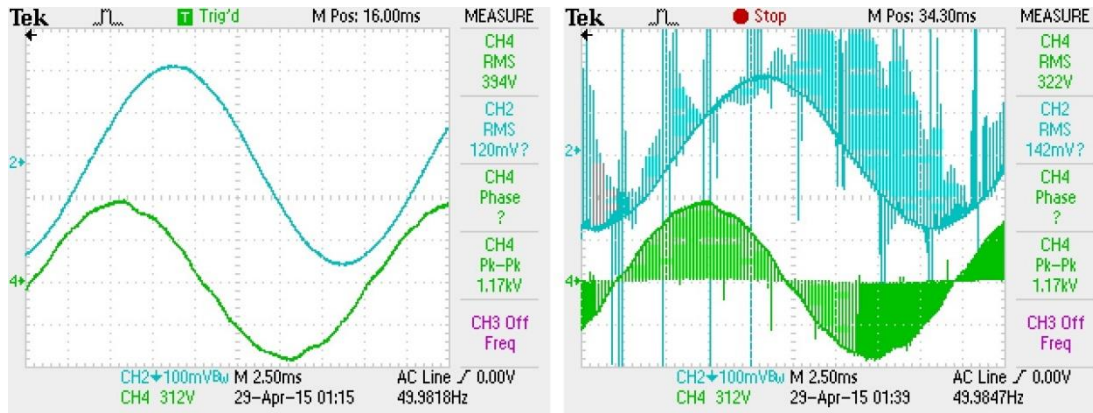


Şekil 4.56 : Deney 15 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

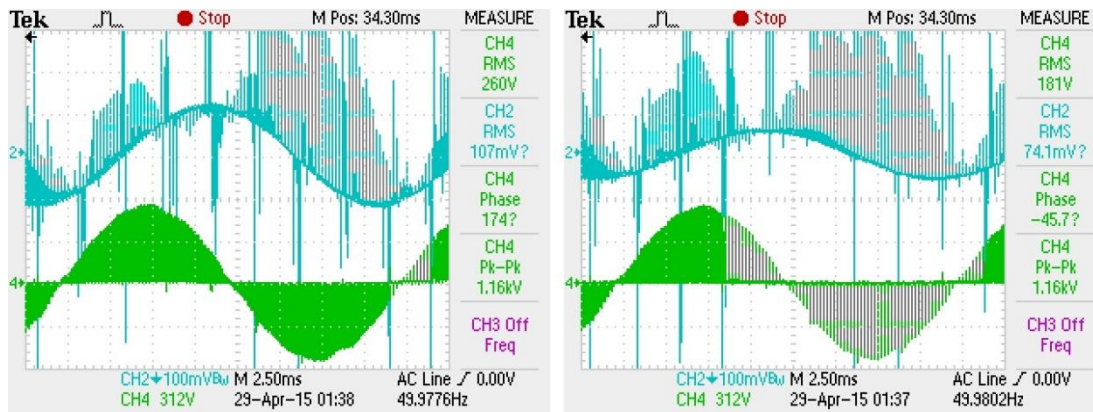
4.4.1.4 Deney 16

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: Her faz için $R_o = 192\Omega$ $L_o = 305\text{ mH}$



Şekil 4.57 : Deney 16 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.

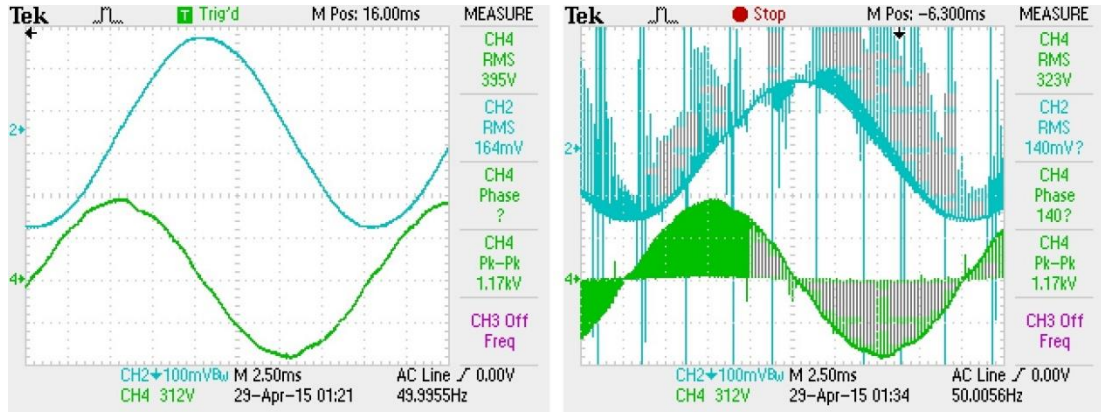


Şekil 4.58 : Deney 16 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

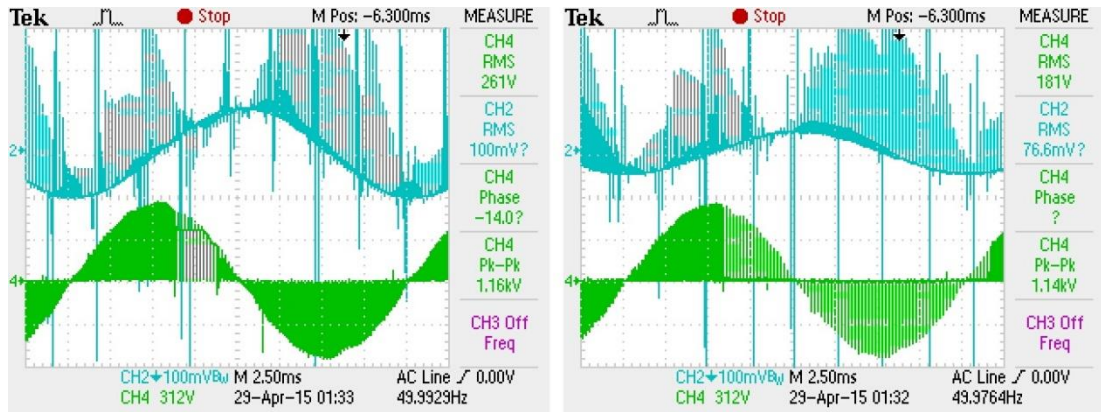
4.4.1.5 Deney 17

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: Her faz için $R_o=96\ \Omega$ $L_o= 610\text{ mH}$



Şekil 4.59 : Deney 17 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.

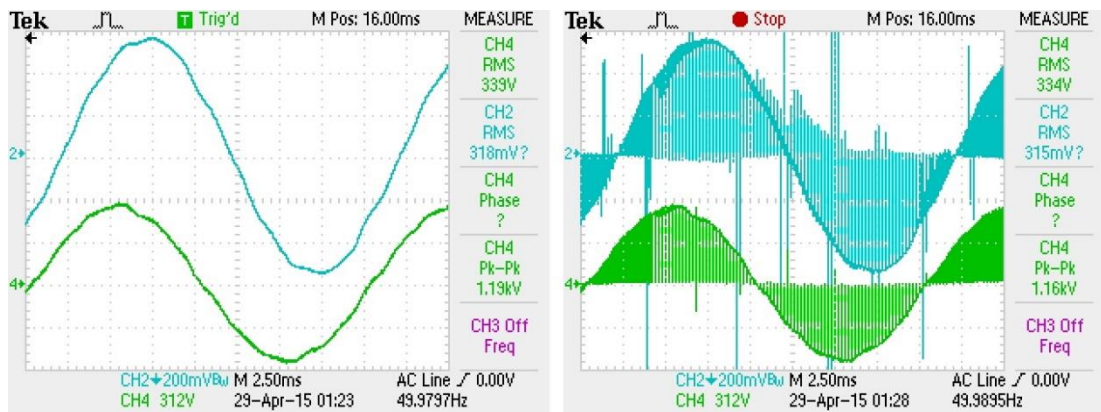


Şekil 4.60 : Deney 17 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

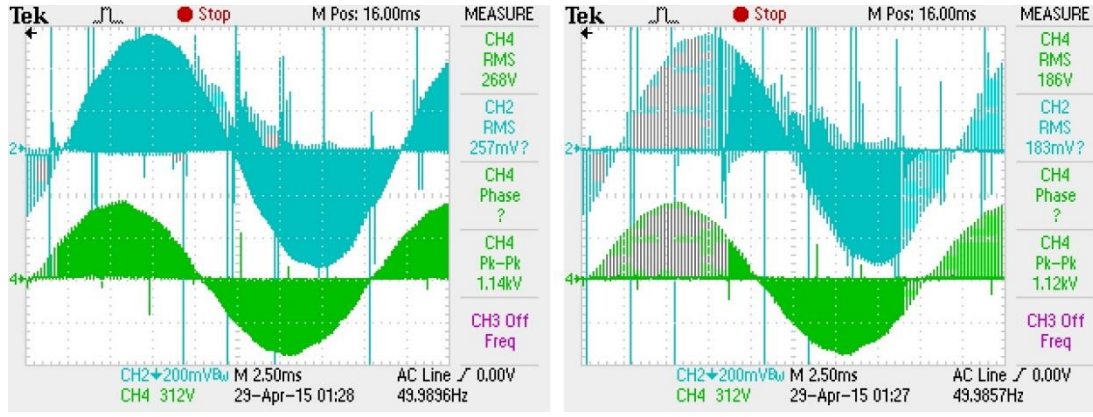
4.4.1.6 Deney 18

Anahtarlama Frekansı: 5000 Hz

Yük Parametreleri: Her faz için $R_o=96\ \Omega$ $L_o= 0\text{ mH}$



Şekil 4.61 : Deney 18 a) aktif anahtarlar $D=100\%$ b) $D=75\%$.



Şekil 4.62 : Deney 18 a) aktif anahtarlar $D=50\%$ b) $D=25\%$.

4.5 Verim Ölçümleri

DGM AA kıyıcıların çıkış dalga şekilleri farklı yükler altında incelendikten sonra, dönüştürücünün verim değerleri farklı yükler ve frekanslarda hesaplanmıştır. Şekil 4.20’de gösterilen deney düzeneğine ilave olarak DGM AA kıyıcının giriş ve çıkış uçlarına enerji analizörü takılmıştır. Bununla birlikte girişteki ve çıkıştaki gerilim, akım, aktif ve görünür güç değerleri kaydedilmiştir. Şekil 4.67’de ölçümlerin alındığı analizörler görülmektedir.



Şekil 4.63 : DGM AA kıyıcının giriş ve çıkış uçlarına bağlı enerji analizörleri.

Verim hesaplamaları yapılırken tek fazlı DGM AA kıyıcılar için gerçekleştirilmiştir. AA sönümleyicili ve DA sönümleyicili devre yapılarının farklı yükler ve anahtarlama frekansları altında verimleri hesaplanmıştır. Yük koşulları ve değerleri seçilirken, farklı yük açıları hedeflenmiştir. DGM AA kıyıcıların farklı yük açıları ve empedans değerlerine göre, verimlerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. 1 ve 2 yük ile aktif güç artışının etkisi araştırılmıştır. 3 yük ile ise endüktif yükün etkisi araştırılmıştır. Yük değerleri ve açıları alttaki gibidir.

1. $R_o=96 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $96\angle 0^\circ$
2. $R_o=48 \Omega$ $L_o= 0 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $48\angle 0^\circ$
3. $R_o=48 \Omega$ $L_o= 305 \text{ mH}$ Yük Empedansı: $107\angle 63,4^\circ$.

Gerilim ve akım değerlerinin etkin değeri kaydedilmiştir. Yapılan ölçümler Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Yapılan ölçümler çizelgedeki ölçüm numaraları ile sınıflandırılmışlardır. Çizelgede, DGM kıyıcıların devre yapıları, anahtarlama frekansı (f_s), doluluk oranı (D), yük empedansı, giriş ve çıkış için gerilim, akım, aktif güç, güç ve verim değerleri listelenmiştir.

Çizelge 4.1 : DGM AA kırıyıcıların verim ölçümleri.

No	Devre Yapısı	Anah. Frekans Hz.	D %	Yük Emp.	Giriş				Çıkış				Verim %
					Gerilim V.	Akım A.	Aktif Güç W.	Gör. Güç VA.	Gerilim V.	Akım A.	Aktif Güç W.	Gör. Güç VA.	
1	AA Sön.	500	50	96∠0°	227	1,760	303	414	147	1,750	266	270	87,78
2	AA Sön.	500	50	48∠0°	227	3,420	578	805	147	3,418	513	524	88,75
3	AA Sön.	500	50	107∠63,4°	227	0,683	65,7	162	147	0,966	57	152	86,76
4	AA Sön.	5000	50	96∠0°	227	1,636	297	390	147	1,633	212	219	71,38
5	AA Sön.	5000	50	48∠0°	227	3,150	558	750	147	3,149	400	415	71,68
6	AA Sön.	5000	50	107∠63,4°	227	0,640	66,3	153	147	0,958	52,7	133	79,49
7	DA Sön.	500	50	96∠0°	227	1,720	293	403	147	1,716	260	261	88,73
8	DA Sön.	500	50	48∠0°	227	3,356	556	786	147	3,335	495	502	89,02
9	DA Sön.	500	50	107∠63,4°	227	0,666	63	157	147	0,947	55	147	87,30
10	DA Sön.	5000	50	96∠0°	227	1,622	289	403	147	1,620	209	216	72,32
11	DA Sön.	5000	50	48∠0°	227	3,127	540	737	147	3,122	391	405	72,40
12	DA Sön.	5000	50	107∠63,4°	227	0,635	63,4	149	147	0,947	51,2	130	80,75

4.6 Tasarım ve Deney Sonuçlarının Yorumlanması

Yapılan deneylerde tek fazlı ve üç fazlı DGM AA kıyıcı tasarımının başarılı bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir. Elde edilen akım-gerilim dalga şekilleri teorik ve benzetim sonuçları ile uyumluluk göstermektedir. DGM AA kıyıcıların verimleri ölçümleri farklı yükler ve devre yapıları için ölçülmüştür. Bu başlık içerisinde farklı deneylerin verilerinin incelenmesi ve karşılaştırılması yapılacaktır.

Deneyler içerisinde ise farklı doluluk oranları için değerler ayrı ayrı alınmıştır. Deneyler anahtarlama frekansı açısından 500 Hz ve 5000 Hz olmak üzere ikiye bölünmektedir. Farklı frekans değerleri ile farklı yükler ve yük açıları kullanılarak, yükün karakteristiği ve anahtarlama frekansının DGM AA kıyıcı çalışması üzerindeki etkisi araştırılmıştır. DGM AA kıyıcıların verimini etkileyen faktörler irdelenmiştir. Deney sonuçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Deney 1 ve Deney 2’de farklı olan yük açıları ve endüktif yükün mertebesi çıkış akımının dalga şekline etkisi incelendiğinde, endüktif yükün artması ile çıkış akımı sinüzoidal dalga şekline daha çok yaklaşmaktadır. Yük açısının artması ile harmonik bozunum azalmaktadır. Deney 1, Deney 2’ye kıyasen daha düşük yük açısı ve daha düşük endüktif yüke sahiptir. Deney 1’deki çıkış akımı grafiğinde tırtıklanmalar ve keskin uçlar net bir şekilde görülürken, Deney 2’de bu etki daha azdır.
2. Deney 3, 6, 9, 12, 15 ve 18 yük direnç karakteristiğinde olduğu durumda, yapılan deneylerde çıkış gerilim ve akım grafiğinin birbirine benzer şekilde oluştuğu gözlemlenmiştir.
3. Deneyler içerisinde uygulanan farklı doluluk oranlarının (D) çıkış akımının dalga şeklini etkilediği ve doluluk oranı arttıkça çıkış akımı daha çok sinüzoidal şekli aldığı gözlemlenmiştir. Deney 2 içerisinde %75 ve %50 doluluk oranlarındaki çıkış akımları karşılaştırıldığında bu sonuç gözlenmiştir.
4. Deney 1 ve Deney 4’te aynı yük değerleri yapılan testlerde anahtarlama frekansının çıkış dalga şekillerine etkisi incelenmiştir. Deney 1’de anahtarlama frekansı 500 Hz iken Deney 4’te 5000 Hz’dir. Anahtarlama frekansının artması ile çıkış akım dalga şekli sinüse çok yaklaşmaktadır. Anahtarlama frekansının

çıkış dalga şekillerine etkisi çok yüksektir ve harmonik bozunumu azaltmaktadır.

5. Ölü zaman durumlarındaki darbeler incelendiğinde, benzetim sonuçlarından bazı farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Yapılan deneylerde çıkış gerilimi grafiklerinde çok az sayıda ve seviyede gerilim darbeleri gözlenmiştir. Benzetim yöntemlerinde gerilim darbeleri her ölü zaman aralığında oluşmakta ve gerilim seviyeleri giriş geriliminin seviyelerine kadar ulaşmaktadır. Gerçeklenen devrede gerilim darbelerinin, benzetim yöntemlerindeki kadar çok yükselmediği gözlemlenmiştir.
6. Ölü zaman durumunda gerçekleşen gerilim darbeleri AA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcının deneylerinde düşük seviyede gözlemlenmiştir. Deney 2’de Şekil 4.25’de ve Deney 5’te Şekil 4.31’de düşük seviyelerde gerilim darbeleri gözlemlenmiştir. Anahtarlama frekansı yüksek olan Deney 5’te darbelerin biraz daha çok olduğu görülmektedir. DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kıyıcılar Deney 7-12 arasında incelenmiş ve çıkış gerilimlerinde hiç gerilim darbesi gözlemlenmemiştir.
7. Ölü zaman durumunda, yapılan deneylerde çıkış geriliminin darbeleri az olmasına rağmen, çıkış akım grafiklerinde darbeler ve gürültü görülmektedir. Benzetim yöntemiyle elde edilen sonuçlarda böyle bir etki gözlenmemiştir. Akım dalga şeklindeki darbeler incelendiğinde ölçüm problemlerinin dönüştürme hataları, ortamdaki manyetik alan etkileri, osiloskop teknik özellikleri ve yeterliliklerin etkili olduğu görülmüştür.
8. Çıkış akım darbelerinin daha çok ölü zaman durumunda olduğu görülmektedir. Akımın yönünün değiştiği veya sıfıra gittiği noktalardaki anlık değişimin etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Akım darbelerinin etkisi bazı etkenlere göre değişmektedir. Akım darbeleri sadece direnç karakteristiğindeki yüklerde de görülmektedir. Deney 3 ve Deney 6’da bu etki görülmektedir. Endüktif yüklerde akım darbeleri çoğalmaktadır. Bu etki Deney 2 ve Deney 5’te gözlemlenmektedir. Çıkış akım darbeleri en çok anahtarlama frekansından etkilenmektedir. Yüksek frekanslı tüm deneylerde akım darbeleri gözlemlenmiştir. DA sönümleyicili sistemlerin akım darbeleri üzerinde bir etkisi olmadığı Deney 7-12’de görülmüştür. Üç fazlı DGM AA kıyıcılarda

akım darbelerinin seviyesi tek fazlı sistemlere göre daha fazladır. Üç fazlı sistemlerin sonuçları Deney 13-18’de gösterilmiştir.

Tek fazlı DGM AA kısıyıcıların farklı koşullarda verimleri Çizelge 4.1’de toplanmıştır. Verim hesaplamalarına dair gözlemlenen maddeler aşağıda sıralanmıştır.

1. Tüm devre yapılarında ve frekansta yük empedansının düşürüldüğü, daha fazla aktif gücün çekildiği durumlar göz önüne alındığında çıkışın aktif gücü yükseldikçe verim yükselmektedir. Bu etki Ölçüm 1-2, 4-5, 7-8, 10-11’deki ölçülen verimler kıyaslandığında gözlemlenmektedir.
2. Yapılan ölçümlerde tüm yüklerde anahtarlama frekansı arttırıldığı durumda anahtarlama kayıplarının artarak verimin düştüğü gözlemlenmiştir. Ölçüm 1-4, 2-5, 3-6, 7-10, 8-11, 9-12’de bu etki görülmektedir.
3. Yapılan ölçümlerde ve detaylı bilgilerinin paylaşıldığı başlıklarda anahtarlama frekansı arttıkça, DGM AA kısıyıcının hem girişinden hem de çıkışından çekilen güç seviyeleri düşmektedir. Bu etki çıkış akım dalga şeklinin değişmesinden ve sinüzoidale daha çok benzemesinden dolayı oluşmaktadır. Ölçüm 1-4, 2-5, 3-6, 7-10, 8-11, 9-12’de bu etki görülmektedir.
4. DA sönümleyicili tek fazlı DGM AA kısıyıcıların ölçümlerinde aynı yük koşullarında daha yüksek verime sahip olduğu görülmektedir. AA sönümleyici sistemler gerilim darbelerinin enerjisini RC sönümleyiciler üzerinde harcamakta ve anahtarlama elemanları daha çok anahtarlanmaktadır. Bu etki ölçüm 1-7, 2-8, 3-9, 4-10, 5-11 ve 6-12’de görülmektedir.

Tasarımı yapılan DGM AA kısıyıcının deney sonuçları, çalışma prensipleri, teknik bilgiler ve benzetim sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, başarımı onaylanmış bir tasarım elde edildiği görülmüştür.

5. SONUÇ

Gerilim dönüştürücülerinin kullanımı ve yaygınlığı teknolojik gelişmeler ve endüstriyel uygulamaların çoğalması ile artmıştır. Gerilim ve güç dönüştürücülerinin çeşitlendiren ve sınıflara ayıran özelliği giriş geriliminin ve çıkış geriliminin karakteristiğidir. Dönüştürücünün çıkış gerilimi sabit karakteristiğe sahip olmak zorunda olmamaktadır ve uygulamaya yönelik anlık olarak kontrol edilebilmektedir. Özellikle motor hız/moment kontrolü, gerilim düzenleyiciler ve ısıtma gibi uygulamalarda, sistemler alınan geri bildirim verilerine göre gerilim dönüştürücülerini ayarlamaktadırlar.

Bu çalışma içerisinde AA-AA gerilim dönüştürücülerini ailesinden dalga genişlik modülasyonlu AA kıyıcılar araştırılmış ve tasarımı yapılmıştır. AA-AA gerilim dönüştürücülerini endüstriyel olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle şebeke beslemesinin AA karakteristiğinde olması ve uygulamaların çoğunda AA gerilime ihtiyaç duyulması, şebeke beslemesine ihtiyaç duyulması ve asenkron motorun yaygınlığı ile birlikte AA-AA gerilim dönüştürücülerinin kullanım alanı çok yaygın ve geniş olmaktadır.

Alternatif akım çıkışlı AA-AA gerilim dönüştürücülerinin bir bölümü çıkış geriliminin etkin değerinin yanında frekansı da değiştirebilmektedirler. DA bağlantılı ve matris dönüştürücüler bu sınıfa girmektedirler. Bu dönüştürücülerinin anahtarlama elemanı sayısı, devre yapısındaki etkenler ve kontrollerindeki zorluklar, bu sistemlerin sadece çıkış geriliminin etkin değerini frekansı değiştirmeksizin ayarlamak için uygun değildirler. AA-AA dönüştürücüler içerisinde frekans değişikliği yapmadan gerilimin etkin değerini kontrol eden dönüştürücülere AA kıyıcılar veya AA gerilim düzenleyicileri denilmektedir.

Alternatif akım kıyıcı sistemleri iki farklı yapıdan oluşmaktadır. Bu yapılar tristör tabanlı ve DGM AA kıyıcılarıdır. Tristör tabanlı AA kıyıcıların çalışması eski teknoloji ürünü olan tristörlerin ateşlenmeleri sağlanmaktadır. Tristörlerin teknik özelliklerinden dolayı, giriş geriliminin bir periyodunda pozitif ve negatif yönünde iletimde olan tristörler bir kere ateşlenebilmektedir. Tristör tabanlı AA kıyıcıların

büyük ateşleme açılarında, çıkış geriliminin harmonik bozunumu artmakta ve akımda kesikliler meydana gelmektedir. Ayrıca ateşleme açısı büyüdükçe güç faktörü ve birliği kötüye gitmektedir. Harmonik etkilerinin azaltılabilmesi için büyük filtreleme elemanlarına ihtiyaç duymaktadır. DGM AA kıyıcılar, giriş geriliminin periyodundan bağımsız yüksek frekanslı anahtarlama yaparak çıkış gerilimini oluşturmaktadır. Böylece tristör tabanlı AA kıyıcıların eksiklerini taşımamaktadır.

DGM AA kıyıcılar yapısında, yüksek anahtarlama frekansta ve güçte çalışabilen IGBT gibi yarı iletken anahtarlama elemanları mevcuttur. Giriş geriliminin bir periyodu süresince devreye giren çıkan anahtarlar ile giriş gerilimi kıyılmakta ve çıkış geriliminin etkin değeri değiştirilmektedir. DGM AA kıyıcılar giriş ve çıkış akımları sinüs biçimli, yüksek güç faktörlü, dinamik yapılı, harmonik sevipleri düşük ve daha küçük filtre eleman ihtiyaç duyması gibi özellikleriyle tristör tabanlı kıyıcıların önüne geçmektedir.

Çalışma içerisinde DGM AA kıyıcıların teknik bilgileri ve çalışma prensipleri detaylı şekilde açıklanmıştır. DGM AA kıyıcıların çalışma durumları, akımın izlediği akış yolları, giriş ve çıkış dalga şekilleri birlikte verilmiştir. DGM AA kıyıcıların teknik özellikleri tek ve üç fazlı devre yapıları için ayrı olarak incelenmiştir.

DGM AA kıyıcıların çalışma durumları aktif, serbest geçiş ve ölü zaman durumu olarak sıralanmaktadır. Aktif durumda, DGM AA kıyıcı giriş gerilimi çıkış gerilimine eşit olmakta ve yüke ulaşmaktadır. Serbest geçiş durumunda ise yük uçları kendi üzerinden birleştirilmekte ve çıkış gerilimi sıfır olmaktadır. Aktif durum ile serbest geçiş durumunun birbirine oranına göre çıkış geriliminin etkin değeri belirlenmektedir. Ölü zaman durumu ise iki durum arasında geçişi güvenli bir şekilde sağlanması için oluşturulmaktadır. Fakat ölü zaman durumlarında, yükte biriken enerjiden dolayı gerilim darbeleri oluşmaktadır. Akımın yön değiştirmesi ve akış yolundan kaynaklanan bu sorun komutasyon problemi olarak adlandırılmaktadır.

Komutasyon problemleri DGM AA kıyıcılar için önemli bir konuyu oluşturmaktadır. DGM AA kıyıcıların bu problemi çözmek için geliştirilen iki farklı devre yapısı bulunur. Devre yapıları kıyıcı devresinde bulunan sönümleyicilerin çeşidine göre adlandırılmaktadırlar. Bu devre yapıları AA sönümleyicili ve DA sönümleyicili DGM AA kıyıcılardır. AA Sönümleyicili devreler klasik DGM kontrolüne sahiptir ve gerilim darbelerini RC sönümleyiciler üzerinde enerji harcatarak komutasyon sorununu

çözmektedir. DA Sönümleyicili devreler ise giriş geriliminin değerine bağlı olarak özel kontrol yöntemine sahiptir ve yük akımının ölü zaman durumunda bile iletimini sağlamaktadır.

Bu çalışma içerisinde DGM AA kıyıcıların benzetim yöntemleri ile analizleri gerçekleştirilmiştir. MATLAB/Simulink programı ile gerçekleştirilen çalışmalarla DGM AA kıyıcılar detaylıca incelenmiştir. Benzetim yöntemleri ile AA sönümlü ve DA sönümlü kıyıcıların analizleri tek ve üç fazlı sistemler için ayrı ayrı gerçekleştirilerek karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur. DGM AA kıyıcıların anahtarlama fonksiyonlarının oluşturulması ve çıkış gerilimlerinin elde edilmesinin ardından farklı yüklenme koşulları altında kıyıcıların başarımı araştırılmıştır. Benzetim yöntemleri ile elde edilen sonuçlarda, DGM AA kıyıcıların kontrol işaretlerinin kritik öneme sahip olduğu ve hatalı işaretlerin ciddi sorunlar açtığı gözlemlenmiştir. Yüklenme koşulları altında farklı yük değerleri ve açılarının devrenin çıkış akımına etkisi gözlemlenmiştir. Ayrıca AA sönümlü devre yapılarında gerilim darbeleri gözlemlenirken, DA sönümleyicili devrelerin gerilim darbelerini azalttığı görülmüştür.

Çalışmanın ilerleyen safhalarından teknik bilgiler ve benzetim yöntemleri ile elde edilen sonuçlar ışığında tasarım aşamasına geçilmiştir. Tasarım aşamaları içerisinde donanım ve yazılım tasarımı açıklanmış ve DGM AA kıyıcının teknik yeterliliklerine uygun bir tasarım yapıpı gerçekleştirilmiştir. DGM AA kıyıcı devresi üç fazlı devre yapısına uygun olarak geliştirilmiştir. Yapılan tasarımın esnekliği ile birlikte gerçekleştirilen devre tek/üç fazlı olarak çalıştırılabilmekte ve AA/DA sönümleyicili devre yapılarına uygun çalıştırılabilmektedir.

Tasarımı tamamlanan ve gerçekleştirilen DGM AA kıyıcının laboratuvar ortamında başarımı araştırılmıştır. DGM AA kıyıcılarının tek fazlı AA sönümleyicili, tek fazlı DA sönümleyicili ve üç fazlı AA sönümleyicili yapıları deneysel analizlere tabi tutulmuştur. Anahtarlama işaretlerinin kontrolü ile başlayan çalışmaların ardından farklı yükler ve yük açıları altında çıkış gerilim/akım değerleri ve verim değerleri kayıt edilmiştir. Farklı devre yapılarının, anahtarlama frekanslarının ve yük değerlerinin DGM AA kıyıcı üzerindeki etkileri incelenmiş ve karşılaştırmalı sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmada tasarlanan DGM AA kıyıcı devresinin yapılan deneysel çalışmalar sonucunda başarıya ulaştığı görülmüştür. Sonuçların yorumlanması ve DGM AA kıyıcıların çalışması etkileyen maddeler açığa çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Srinivasan, S. ve Venkataramanan, G.** (1995). Design of a versatile three-phase AC line conditioner, *Industry Applications Conference, IEEE*, **3**, Sf. 2492-2499, 8-12 Ekim.
- [2] **Rashid, M. H.** (2011). *Power Electronics Handbook Third Edition*, Elsevier Academic Press, Jordan Hill, Oxford, United Kingdom, Sf. 249.
- [3] **Wensheng, C. ve Wenyi, Z.** (2009). Research on voltage-source PWM inverter based on state analysis method, *Mechatronics and Automation, ICMA 2009*. Sf. 2183-2187, 9-12 Ağustos.
- [4] **Friedli, T., Kolar, J.W., Krismer, F., Round, S.D.** (2008). The essence of three-phase AC/AC converter systems, *Power Electronics and Motion Control Conference, EPE-PEMC 2008*, Sf. 27-42, 1-3 Eylül.
- [5] **Chung-Chuan, H. ve Hsin-Ping, S.** (2014). A multi-carrier PWM for AC-DC-AC converter without DC link electrolytic capacitor, *Power Electronics Conference, IPEC Hiroshima 2014*, Sf. 2821-2825, 18-21 Mayıs.
- [6] **Borojevic, D. ve Huber, L.** (1995). Space vector modulated three-phase to three-phase matrix converter with input power factor correction, *Industry Applications, IEEE Transactions*. Cilt **31**, sayı 6, Sf. 1234-1246, Kasım/Aralık.
- [7] **Hotate, H. ve Matsuse, K.** (2004). Basic characteristics of matrix-converter controlled by space vector modulation considering input voltage conditions, *Power Electronics and Motion Control Conference, IPESC 2004*. Cilt 2, Sf. 719-723, 14-16 Ağustos.
- [8] **Rosas, J., Et al.** (2010). A review of AC choppers, *Electronics, Communications and Computer, CONIELECOMP 2010*, Sf. 252-259, 22-24 Şubat.
- [9] **Ji, Y., Li, M., Yu H.** (2004). An advanced harmonic elimination PWM technique for AC choppers, *Power Electronics Specialists Conference, PESC 04, IEEE 35th Annual*, cilt **1**, Sf. 161-65, 20-25 Haziran.
- [10] **Kale, M., Ozdemir, E., Saracoglu, B.** (2004). A novel technique for optimal efficiency control of induction motor fed by PWM IGBT AC chopper, *Power Electronics Specialists Conference, PESC 04, IEEE 35th Annual*, cilt 5, Sf. 3353-3358, 20-25 Haziran.
- [11] **Ki-Yeon, J., Kim, Y. H., Lee, J.M., Oh, S. C.** (1991). A novel AC voltage regulator topology, *Industrial Electronics, Control and Instrumentation, IECON 1991*, International Conference, Sf. 825-829, 28 Eylül.

- [12] **El-Bidweihy, E., Et al.** (1980). Power Factor of AC Controllers for Inductive Loads, *Industrial Electronics and Control Instrumentation, IEEE Transaction on*, Sf. 210-212, Ağustos.
- [13] **Do-Hyun, J., Gyu-Ha, C.** (1995). Improvement of input power factor in AC choppers using asymmetrical PWM technique, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, cilt **42**, sayı 2, Sf. 179-185, Nisan.
- [14] **Dumitrescu, M., Floricău, D., Popa, I., Ivanov, S.** (2006). Basic Topologies Of Direct PWM AC Choppers, *Annals of the University of Craiova Engineering series*, sayı 30, Sf. 141-144.
- [15] **Kim, J. H., Kwon, B. H., Min, B. D.** (1996). Novel topologies of AC choppers, *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, cilt 143, sayı 4, Sf. 323-330, Temmuz.
- [16] **Fujikura, S., Kobayashi, N., Torii, A., Ueda, A.** (2007). Analysis of a Three-Phase Buck-Boost AC Chopper Controlled in Two Phases, *Power Conversion Conference, Nagoya, PCC '07*. Sf. 824-830, 2-5 Nisan.
- [17] **Shinyama, T., Torii, A., Ueda, A.** (2002). AC chopper using four switches, *Power Conversion Conference, PCC-Osaka 2002*. Proceedings of the, cilt 3, Sf. 1056-1060.
- [18] **Kim, J. H., Kwon, B. H., Min, B. D., Sang-Chul W.** (1998). A PWM buck-boost AC chopper solving the commutation problem, *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, cilt **45**, sayı 5, Sf. 832-835, Ekim.
- [19] **Cougo, B. ve Meynard, T.** (2006). A Solution for Three-Phase System Unbalance Based on PWM AC Choppers, *IEEE Industrial Electronics, IECON 2006*, Sf. 1679-1684, 6-10 Kasım.
- [20] **Rosas-Caro, J. C., Et al.** (2010). AC chopper topology with multiple steps switching capability, *Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE*, Sf. 1808-1815, 12-16 Eylül.
- [21] **Alolah, A.I., Eltamaly, A.M., Hamouda, R. M.** (2007). Performance evaluation of three-phase induction motor under different ac voltage control strategies Part II, *Electrical Machines and Power Electronics, ACEMP '07. International Aegean Conference*, Sf. 775-779, 10-12 Eylül.
- [22] **Nan, J., Et al.** (2010). Analysis and control of two switches AC chopper voltage regulator', *WSEAS Transactions On Circuits And Systems*, cilt **9**, sayı 4, Sf. 208-217.
- [23] **Ursaru, O., Et al.** (2004). Three-Phase Ac Chopper With IGBT's, *International Conference on Development And Application Systems 2004*, Romania, 27-29 Mayıs.
- [24] **Kwon, B. H., Kwon, J. M., Park, C.Y.** (2012). Automatic voltage regulator based on series voltage compensation with ac chopper, *Power Electronics, IET*, cilt 5, sayı. 6, Sf. 719-725, Temmuz.
- [25] **Hua, J., Vincenti, D., Ziogas, P.** (1993). Design and implementation of a 25 kVA three-phase PWM AC line conditioner, *Industrial Electronics, ISIE'93*, Budapest, *IEEE International Symposium*, Sf. 471-476.

- [26] **Olaru, D., ve Floricău, D.** (2007). Design Procedure For The Input/Output Filter Circuits Used For Single Phase Ac Choppers, *The Scientific Bulletin Universitatea Politehnica din Bucuresti*, cilt **69**, sayı 3.
- [27] **Kale, M., Karabacak, M., Saracoglu, B.** (2013). A novel hysteresis band current controller scheme for three phase AC chopper, *International Journal Of Electrical Power And Energy Systems*, cilt **44**, sayı 1, Sf. 219-226.
- [28] **Ahmed, N. A., Kenji A., Masaaki S.** (2000). AC Chopper Voltage Controller-Fed Single-Phase Induction Motor Employing Symmetrical PWM Control Technique, *Electric Power Systems Research*, cilt **55**, Sf. 15-25, Temmuz.
- [29] **Cha, H., Kim, H. G., Shin, H. H., Yoo, D. W.** (2015). Novel Single-Phase PWM AC–AC Converters Solving Commutation Problem Using Switching Cell Structure and Coupled Inductor, *Power Electronics, IEEE Transactions on*, cilt **30**, sayı 4, Sf. 2137-2147, Nisan.
- [30] **Rashid, M. H.** (1993). *Power Electronics: Circuits, Devices and Applications*, 2nd ed., Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- [31] **Aurasopon, A., Kaattisin, S., Khamsen, W., Sa-ngiamvibool, W.** (2011). Designing parameters in PWM buck AC chopper for unity input power factor, *Electrical Engineering, Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, Sf. 731-734. 17-19 Mayıs.
- [32] **Matteini, M.** (2001). Control Techniques for Matrix Converter Adjustable Speed Drive, University of Bologna, Sf. 38, 1998-2001.
- [33] **Kim, J.H., Kwon, B.H., Min, B.D.** (1998). Novel commutation technique of AC-AC converters, *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, cilt **145**, sayı 4, Sf. 295-300, Temmuz.
- [34] **Kim, J.H., Kwon, B.H.** (2000). Three-phase ideal phase shifter using AC choppers, *Electric Power Applications, IEE Proceedings*, cilt **147**, sayı.4, Sf. 329-335, Temmuz.
- [35] **Aurasopon, A., Khamsen, W., Sangiamvibool, W.** (2013). Power Factor Improvement and Voltage Harmonics Reduction in Pulse Width Modulation AC Chopper Using Bee Colony Optimization, *IETE Technical Review*, cilt **30**, sayı 3, Sf. 173-182, Temmuz.
- [36] **Srinivasan, S., Venkataramanan, G.** (1995). Comparative evaluation of PWM AC-AC converters, *Power Electronics Specialists Conference PESC*, cilt **1**, Sf. 529-535.
- [37] **Soeiro, T.B., Et Al.** (2011). Direct AC–AC Converters Using Commercial Power Modules Applied to Voltage Restorers, *Industrial Electronics, IEEE Transactions*, cilt **58**, sayı 1, Sf. 278-288, Ocak.
- [38] **Infineon Technologies AG.** (2014). IGBT in 2nd generation TrenchStop® with soft, fast recovery anti-parallel Emitter Controlled Diode, IKW40N120T2 datasheet, Rev. 2.4., Ekim.
- [39] **Powerex Inc.** (2007). Hybrid IC IGBT Gate Driver and DC/DC Converter, VLA500-01R datasheet, Rev. 2/08.

- [40] **Texas Instruments.** (2013). Piccolo Microcontrollers, TMS320F28027 datasheet, Rev. J., Ekim.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Cihangir Odabaş
Doğum Yeri ve Tarihi : 1990, Sakarya
E-Posta : cihangirodabas@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2012, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

Robot Kontrol Otomasyon-İstanbul (01.08.2012-01.08.2015)

Elektrik Mühendisi

İstanbul Teknik Üniversitesi ARI Enerji Teknokenti – ARI 6 binasında bulunan, Robot Kontrol özellikle demiryolları sektöründe Ar-Ge faaliyeti göstermektedir. Şirket çalışmaları süresince, iki adet patent başvurusu yapılmıştır.